Sumário - Física

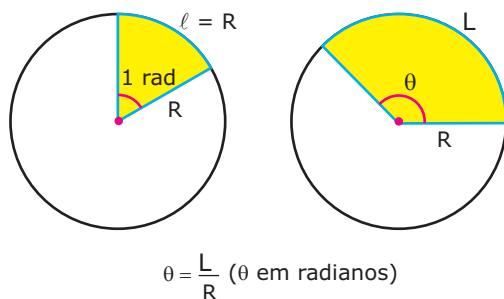
Frente A

Frente B

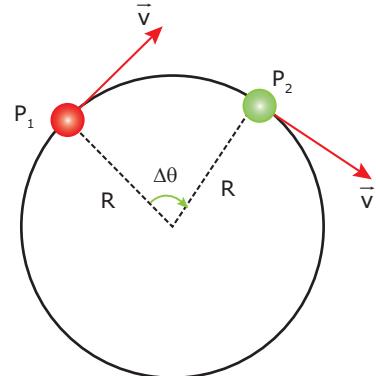
Frente C

Frente D

FÍSICA

Movimento circular

MÓDULO 05 FRENTE A

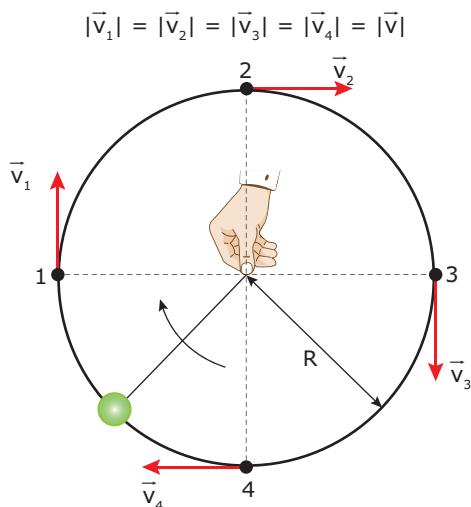
Nos módulos anteriores, estudamos as propriedades fundamentais dos movimentos retilíneos, utilizando grandezas como distância percorrida, deslocamento, velocidade e aceleração para caracterizá-los. Neste módulo, discutiremos algumas grandezas que nos auxiliam na descrição e na caracterização dos movimentos curvilíneos. Esses movimentos estão presentes em várias situações de nosso dia a dia e em muitos dispositivos: uma bola lançada obliquamente, os carros realizando uma curva em uma estrada e as engrenagens das máquinas são alguns exemplos de corpos que descrevem movimentos curvilíneos.

VELOCIDADE ANGULAR

Um objeto pode girar mais depressa que outro. O ponteiro de segundos de um relógio gira mais rápido que o de minutos, e este, mais rápido que o de horas. Para estudarmos o movimento circular, é necessário definir uma grandeza que meça essa "rapidez" de giro, que é a velocidade angular. Antes de defini-la, devemos relembrar o conceito de medidas de ângulo, tanto em graus quanto em radianos. Um grau (°) é definido como 1/360 do ângulo total de uma circunferência. Um radiano (rad) é a medida do ângulo central de uma circunferência que determina um arco de comprimento ℓ, igual ao raio R da mesma circunferência. A figura a seguir mostra, na primeira imagem, um ângulo de 1 radiano. Na segunda imagem, temos um ângulo genérico θ. A relação entre esse ângulo, o comprimento do arco e o raio da circunferência também é apresentada.

$$\theta = \frac{L}{R} \text{ (}\theta\text{ em radianos)}$$

Se você amarrar um barbante a uma pedra e marcar dois pontos nesse barbante (o ponto A, mais externo, e o ponto B, mais interno), ao colocar a pedra para girar, notará algo imediatamente: o ponto mais externo percorrerá uma trajetória de comprimento maior que o comprimento da trajetória do outro ponto, apesar de ambos descreverem o mesmo ângulo central no mesmo intervalo de tempo. Isso nos mostra que necessitamos de uma grandeza para descrever a velocidade de giro (velocidade angular) e de outra para descrever a velocidade com a qual a trajetória (circular) é percorrida (velocidade linear).

A figura anterior mostra uma partícula, em movimento circular, passando por uma posição P_1, em um instante t_1, e por uma posição P_2, em um instante t_2. Nesse intervalo de tempo, Δt, o ângulo central variou de $\Delta\theta$. Definimos a **velocidade angular (ω)** como a razão entre $\Delta\theta$ e Δt:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

A razão entre o comprimento da trajetória percorrida pela partícula, para mover-se da posição P_1 até a posição P_2, e o intervalo de tempo Δt determinam o valor da velocidade linear v ($v = \Delta s/\Delta t$), também denominada velocidade escalar ou tangencial. Intuitivamente, sabemos que há uma relação entre as velocidades angular e linear de um corpo, pois, quanto maior for a velocidade angular de um corpo, maior será o ângulo percorrido por ele em certo tempo e maior será, também, o comprimento da trajetória percorrida por ele durante esse tempo. Na verdade, como esse comprimento é proporcional ao ângulo, temos que a velocidade linear de um corpo é diretamente proporcional à velocidade angular deste. A relação entre as velocidades angular e linear de um corpo, em movimento circular, pode ser expressa por:

$$v = \omega R$$

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Se uma partícula executa um movimento cuja trajetória é uma circunferência e cujo módulo da velocidade linear é constante, dizemos que essa partícula executa um movimento circular uniforme (MCU). Isso ocorre, por exemplo, com os ponteiros de um relógio ou com as engrenagens encontradas em diversos dispositivos. O movimento da Terra ao redor do Sol também pode ser considerado, com boa aproximação, um movimento circular uniforme.

Uma característica desse movimento é o fato de o vetor velocidade apresentar módulo constante, apesar de sua direção variar continuamente, como mostra a figura seguinte. Também é constante o módulo da velocidade angular ω. Outra característica do movimento circular é o fato de ele ser cíclico, ou seja, depois de um determinado intervalo de tempo, a partícula volta a ocupar a mesma posição, sob as mesmas condições, e assim o movimento se repete.

No MCU, os módulos das velocidades angular e linear são constantes. Já a direção do vetor velocidade linear é variável.

Duas grandezas complementares são muito importantes para caracterizarmos o MCU; são elas: o **período** (**T**) e a **frequência** (**f**). Período é o intervalo de tempo necessário para que um corpo, em MCU, efetue uma volta completa em torno de uma circunferência. Por exemplo, o período de revolução da Terra ao redor do Sol é de 1 ano, o período de um ponteiro de segundos é de 1 minuto, o período da broca de uma furadeira elétrica é da ordem de 0,01 s, etc.

Já a frequência está associada ao número de voltas efetuadas pela partícula a cada unidade de tempo. Por exemplo, se você amarrar um barbante a uma pedra e girá-los, de modo que eles efetuem um MCU, obrigando a pedra a efetuar 50 voltas em 10 s, a frequência desse movimento será de 5 voltas/segundo ou 5 hertz (5 Hz). Por definição, 1 hertz representa uma volta ou revolução por segundo. O hertz é a unidade de frequência utilizada pelo Sistema Internacional de Unidades.

De acordo com as definições de período e de frequência apresentadas, no MCU, uma volta completada está para um intervalo de tempo igual a T, assim como f voltas completadas estão para um intervalo de tempo unitário (1 s, 1 min, 1 h, etc). Portanto, podemos escrever a seguinte igualdade de razões e deduzir uma equação de recorrência entre T e f:

$$\frac{1}{T} = \frac{f}{1} \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

Há também uma relação entre a velocidade angular de um corpo em MCU e a frequência desse movimento. Ao efetuar uma volta completa, o corpo descreve um ângulo de 2π radianos em um intervalo de tempo T (período do movimento). Logo, utilizando a definição de velocidade angular e a relação entre o período e a frequência, temos:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi f$$

Naturalmente, há também uma relação entre a velocidade linear e a frequência. Lembrando que, durante um período T, uma partícula em movimento circular uniforme de raio R percorre um perímetro igual a $2\pi R$ e usando a definição da velocidade linear, concluímos que o módulo dessa velocidade é dado por:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$$

Comparando essa equação com a equação da velocidade angular, obtida anteriormente, obtemos a seguinte expressão de recorrência entre essas duas velocidades:

$$v = \omega R$$

Há outra forma de deduzir essa relação, que consiste em dividir os dois lados da equação $L = \theta R$, definida no início deste texto, pelo intervalo de tempo Δt. Lembrando que $v = L/\Delta t$ e que $\omega = \theta/\Delta t$, obtemos a relação desejada. Quando você realizar cálculos com a relação $v = \omega R$, lembre-se de que o ângulo usado na medida de ω deve estar em radianos.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma roda de bicicleta de raio 0,30 m executa 20 voltas em 5,0 s. Determinar

A) a frequência do movimento.

B) o período.

C) a velocidade angular da roda.

D) a velocidade linear de um ponto situado na extremidade da roda.

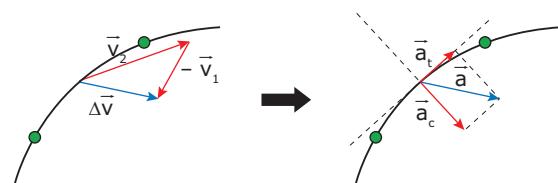
Resolução:

A) A frequência do movimento pode ser calculada dividindo-se o número de voltas efetuadas pelo intervalo de tempo gasto:

$f = 20$ voltas/5,0 segundos

$\Rightarrow f = 4{,}0$ voltas/segundo $= 4{,}0$ hertz $= 4{,}0$ Hz

B) O valor do período pode ser calculado utilizando a equação $T = \frac{1}{f}$. Dessa forma, temos: $\begin{cases} T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4}\text{ s} \\ \Rightarrow T = 0{,}25\text{ s} \end{cases}$

C) A velocidade angular da roda pode ser calculada utilizando a relação:

$\omega = 2\pi f = 2\pi.4$

$\omega = 8\pi$ rad/s $= 1\,440°$/s

D) A velocidade linear de um ponto da extremidade da roda pode ser determinada a partir da relação $v = \omega R$. Dessa forma, temos:

$v = \omega R = 8\pi.0{,}30$

$v = 2{,}4\pi$ m/s $\cong 7{,}5$ m/s

ACELERAÇÃO VETORIAL: TANGENCIAL E CENTRÍPETA

O vetor aceleração $\vec{a}$ apresenta valor não nulo sempre que a velocidade varia, pois, como foi discutido nos módulos anteriores, o conceito de aceleração está associado à **mudança de velocidade**. Devemos agora ampliar o significado do trecho em negrito para **mudança no vetor velocidade**, pois sabe-se que a velocidade é uma grandeza vetorial, podendo sofrer mudanças de módulo, direção ou sentido.

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

A figura anterior representa o vetor velocidade $\vec{v}$ de uma partícula em dois instantes diferentes, nos quais tanto o módulo quanto a direção do vetor velocidade sofrem alterações. Para determinarmos o vetor aceleração média, entre os instantes t_1 e t_2, devemos determinar o vetor variação da velocidade $\Delta\vec{v}$, que é obtido por meio da subtração entre os vetores $\vec{v}_2$ e $\vec{v}_1$, e, então, tomarmos a razão entre o vetor $\Delta\vec{v}$ e o intervalo de tempo Δt. Veja a ilustração que se segue:

Observe que o vetor $\vec{a}$ tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor $\Delta\vec{v}$ e pode ser decomposto em suas componentes ortogonais, aceleração tangencial ($\vec{a}_t$) e aceleração centrípeta ($\vec{a}_c$). Sabemos que:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c \quad \text{e} \quad a^2 = a_t^2 + a_c^2$$

O vetor aceleração total está associado ao vetor força resultante, conforme veremos em outro momento dos nossos estudos. Por ora, vamos apenas associar o vetor $\vec{a}_t$ à mudança no módulo do vetor velocidade, e o vetor $\vec{a}_c$, à mudança de direção do vetor velocidade. Veja o quadro a seguir, que associa o tipo de movimento às acelerações que nele atuam.

Tipo de movimento	$\vec{a}$	$\vec{a}_t$	$\vec{a}_c$
Retilíneo uniforme	–	–	–
Circular uniforme	X	–	X
Retilíneo uniformemente variado	X	X	–
Circular uniformemente variado	X	X	X

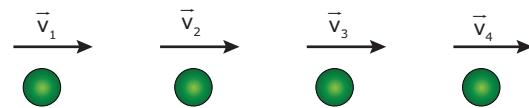
1. Características do vetor $\vec{a}_c$:

Módulo: $a_c = \frac{v^2}{R}$ (em que v é a velocidade linear e R é o raio de curvatura da trajetória);

Direção: perpendicular à velocidade;

Sentido: para dentro da curva.

2. Características do vetor $\vec{a}_t$:

Módulo: $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ (em que Δv é a variação do módulo da velocidade linear e Δt é o intervalo de tempo em que ocorre essa variação);

Direção: tangente à trajetória;

Sentido: no sentido do movimento, se a velocidade linear for crescente em módulo; e em sentido oposto ao movimento, se essa velocidade for decrescente em módulo.

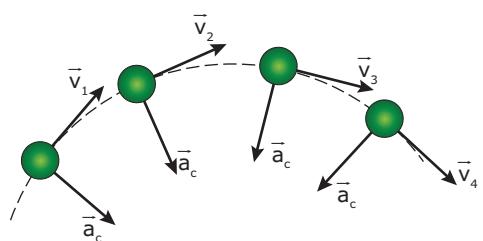
Para visualizar as direções e os sentidos dos vetores velocidade e aceleração, veja as figuras a seguir, que ilustram os casos listados na tabela anterior.

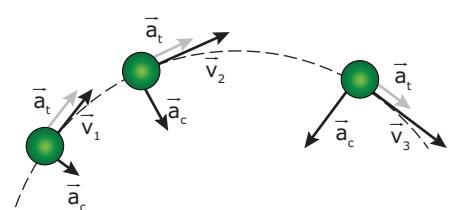
1º caso: movimento retilíneo uniforme (MRU)

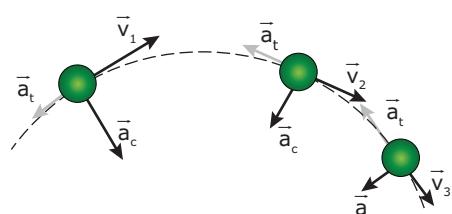
$$\vec{a}_t = 0;\ \vec{a}_c = 0;\ \vec{a} = 0$$

$\vec{v}_1$ $\vec{v}_2$ $\vec{v}_3$ $\vec{v}_4$

2º caso: movimento retilíneo acelerado (MRA)

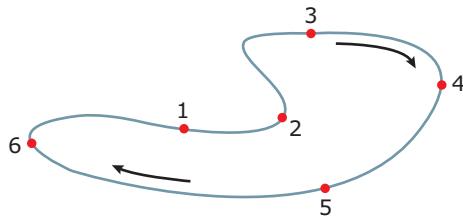
$$\vec{a}_t \neq 0;\ \vec{a}_c = 0;\ \vec{a} \neq 0$$

3º caso: movimento retilíneo retardado (MRR)

$$\vec{a}_t \neq 0;\ \vec{a}_c = 0;\ \vec{a} \neq 0$$

4º caso: movimento circular uniforme (MCU)

$$\vec{a}_t = 0;\ \vec{a}_c \neq 0;\ \vec{a} \neq 0\ (\vec{a}_c \perp \vec{v})$$

5º caso: movimento circular com velocidade crescente em módulo, ou simplesmente movimento circular acelerado (MCA)

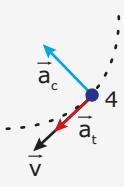
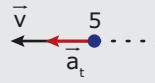
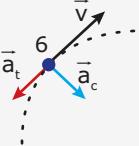
$$\vec{a}_t \neq 0;\ \vec{a}_c \neq 0;\ \vec{a} \neq 0$$

6º caso: movimento circular com velocidade decrescente em módulo, ou simplesmente movimento circular retardado (MCR)

$$\vec{a}_t \neq 0;\ \vec{a}_c \neq 0;\ \vec{a} \neq 0$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. A figura a seguir mostra o trajeto do circuito de um autódromo. Nele, estão assinaladas seis posições, representadas pelos números de 1 a 6.

Considere um carro de corrida movendo-se no sentido 1 → 2 → ... 6. As características do movimento do carro em cada uma das posições assinaladas no circuito são representadas no quadro seguinte

Posição	Trajetória	Módulo da velocidade
1	Retilínea	Decrescente
2	Curvilínea	Constante
3	Retilínea	Crescente
4	Curvilínea	Crescente
5	Retilínea	Crescente
6	Curvilínea	Decrescente

Para cada uma das posições assinaladas, representar os vetores velocidade $\vec{v}$, aceleração tangencial $\vec{a}_t$ e aceleração centrípeta $\vec{a}_c$ do carro. Justificar as representações.

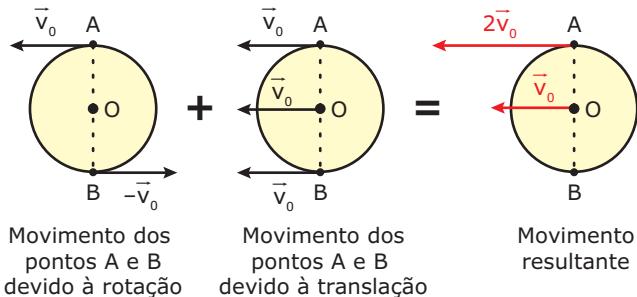
Resolução:

No quadro a seguir, representamos os vetores $\vec{v}$, $\vec{a}_t$ e $\vec{a}_c$ em cada uma das posições do circuito e justificamos as respectivas representações.

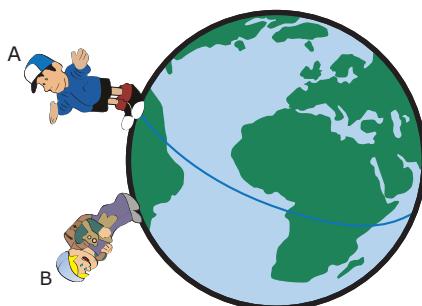
O vetor velocidade $\vec{v}$ é sempre tangente à trajetória e possui o mesmo sentido do movimento, como representado nas figuras a seguir.

Trecho	Justificativa
$\vec{a}_t$ 1 $\vec{v}$	Não há aceleração centrípeta atuando sobre o carro nessa posição, pois o trecho é retilíneo. Como o módulo da velocidade diminui, há uma aceleração tangencial atuando sobre o carro em sentido oposto ao do vetor velocidade.
$\vec{a}_c$ 2 $\vec{v}$	Não há aceleração tangencial atuando sobre o carro nessa posição, pois o módulo da velocidade permanece constante. Como o carro está efetuando uma curva, há uma aceleração centrípeta atuando sobre ele, cuja direção é perpendicular ao vetor velocidade e cujo sentido é para dentro da curva.
3 $\vec{a}_t$ $\vec{v}$	Nessa posição, não há aceleração centrípeta atuando sobre o carro, pois o trecho é retilíneo. Como o módulo da velocidade aumenta, há uma aceleração tangencial atuando sobre o carro no mesmo sentido do vetor velocidade.

$\vec{a}_c$, 4, $\vec{a}_t$, $\vec{v}$	O módulo da velocidade do carro aumenta. Logo, há uma aceleração tangencial atuando sobre ele no mesmo sentido do vetor velocidade. Como o carro está efetuando uma curva, há também uma aceleração centrípeta atuando sobre ele, cuja direção é perpendicular ao vetor velocidade e cujo sentido é para dentro da curva.
$\vec{v}$, 5, $\vec{a}_t$	Não há aceleração centrípeta atuando sobre o carro nessa posição, pois o trecho é retilíneo. Como o módulo da velocidade aumenta, há uma aceleração tangencial atuando sobre o carro no mesmo sentido do vetor velocidade.
$\vec{v}$, 6, $\vec{a}_t$, $\vec{a}_c$	O módulo da velocidade do carro diminui. Logo, há uma aceleração tangencial atuando sobre o carro em sentido oposto ao do vetor velocidade. Como o carro está efetuando uma curva, há também uma aceleração centrípeta atuando sobre ele, cuja direção é perpendicular ao vetor velocidade e cujo sentido é para dentro da curva.

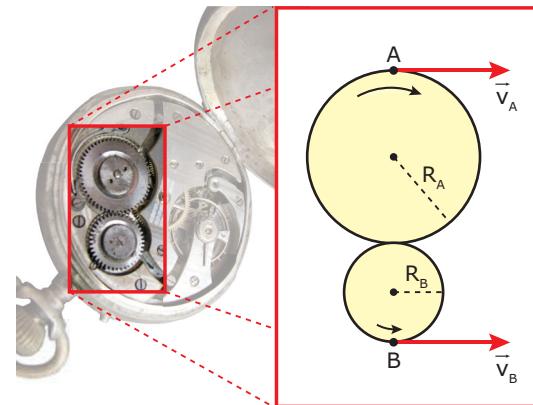
MOVIMENTO DE CORPOS ROLANTES

É um fato conhecido que quando um pneu rola sobre o solo, sem deslizar sobre este, os pontos do pneu que tocam o solo estão em repouso em relação a este. Esse estranho fato pode ser comprovado por meio de uma fotografia do pneu de um carro em movimento, na qual vemos nitidamente que as letras que aparecem no pneu estão bem nítidas na parte de baixo do pneu (próximo ao solo), indicando baixa velocidade dos pontos do pneu próximo ao solo, enquanto que a parte de cima do pneu aparece com as letras "borradas", indicando que a velocidade dos pontos do pneu na parte de cima deste é grande.

SXC / Adaptada

Suponhamos que o carro tenha uma velocidade v_0 em relação ao solo e marquemos dois pontos, A e B, na parte superior e inferior do pneu, respectivamente.

Podemos compreender o fato descrito utilizando o estudo da composição de movimentos realizado no módulo anterior. Os pontos A e B estão sujeitos a dois tipos de movimento, um movimento de rotação, devido à rotação do eixo da roda, e um movimento de translação, devido ao movimento de translação do carro. O movimento resultante dos pontos A e B é a composição desses dois movimentos, como mostra a figura a seguir.

Como não existe deslizamento entre o pneu e o solo, a velocidade do ponto B em relação ao solo é nula, pois, nesse ponto, os vetores velocidade, devido aos movimentos de rotação e translação, anulam-se mutuamente. Para o ponto A, os efeitos dos vetores se somam e, por esse motivo, o módulo da velocidade relativa desse ponto é duas vezes maior que o módulo da velocidade de translação do carro. Quando registramos esse movimento fotograficamente, os pontos de menor velocidade (próximos ao ponto B) aparecem nítidos, enquanto que os pontos de maior velocidade (próximos ao ponto A) aparecem borrados.

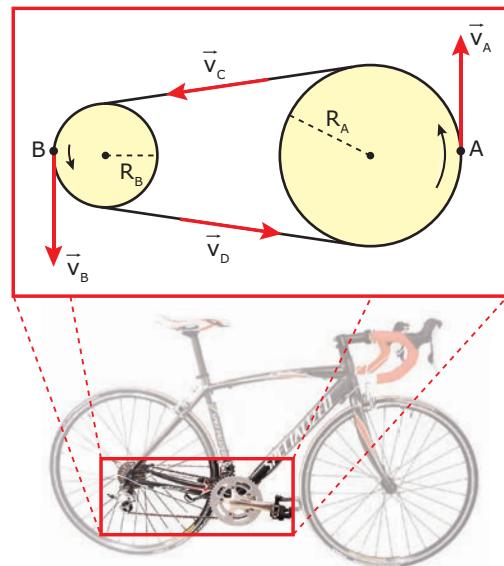
Movimento de um corpo rígido

Em muitas situações, temos de analisar o movimento circular de um corpo rígido girando, como uma roda gigante, ou um carrossel de um parque de diversões. Nesses casos, todos os pontos do corpo, apesar de estarem a diferentes distâncias do centro, giram solidariamente, efetuando um giro completo no mesmo intervalo de tempo, ou seja, todos os pontos do corpo possuem a mesma velocidade angular. Um bom exemplo dessa situação é a Terra. Considere a figura a seguir, que mostra duas pessoas, A e B, sobre a superfície da Terra, uma sobre a Linha do Equador e outra sobre a Linha do Trópico de Capricórnio. Vejamos como se relacionam o período (T), a velocidade angular (ω), a velocidade linear (v), a aceleração centrípeta (a_c) e a aceleração tangencial (a_t) que atuam sobre as pessoas A e B no movimento de rotação da Terra.

- período T: as duas pessoas encontram-se sobre a superfície da Terra e esta completa uma volta em torno de seu próprio eixo a cada 24 h. Consequentemente, todas as pessoas que se encontram sobre a Terra completarão uma volta em torno do eixo desta nesse mesmo intervalo de tempo. Logo, as pessoas A e B possuem o mesmo período de movimento.
- velocidade angular (ω): a velocidade angular é uma grandeza que mede a rapidez de giro de um objeto, definida matematicamente como o ritmo no qual o ângulo central da posição do objeto varia. Como as duas pessoas descrevem o mesmo ângulo no mesmo intervalo de tempo, suas velocidades angulares serão iguais.
- velocidade linear (v): a velocidade linear depende da distância percorrida e do intervalo de tempo gasto para percorrê-la. Como o raio da circunferência descrita pela pessoa A é maior que o raio da circunferência descrita pela pessoa B, e como as duas pessoas descrevem as respectivas circunferências no mesmo intervalo de tempo, a velocidade linear de A será maior que a de B.
- aceleração centrípeta (a_c): o módulo da aceleração centrípeta de um corpo em movimento circular é dado por $a_c = v^2/R = \omega^2R$. Como as duas pessoas estão sujeitas à mesma velocidade angular, o módulo da aceleração centrípeta que atua sobre as pessoas será diretamente proporcional ao raio de suas respectivas trajetórias. Logo, a aceleração centrípeta que atua sobre a pessoa A é maior do que a que atua sobre a pessoa B.
- aceleração tangencial (a_t): o módulo da aceleração tangencial que atua sobre um corpo está associado à mudança no módulo do vetor velocidade desse mesmo corpo. Como as duas pessoas estão descrevendo um MCU, o módulo da velocidade linear delas permanece constante. Consequentemente, a aceleração tangencial que atua sobre as duas pessoas é nula.

TRANSMISSÃO DE VELOCIDADES NO MOVIMENTO CIRCULAR

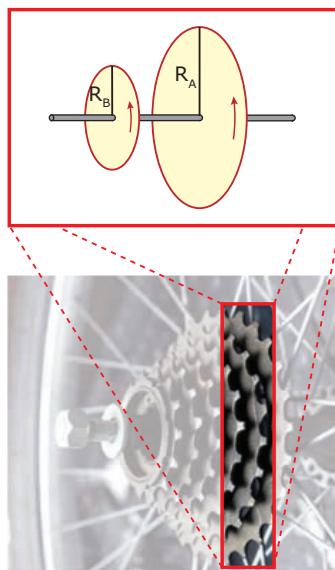
É muito comum a transmissão do movimento circular de um disco (ou de uma roldana, ou de uma polia) a outro objeto, por meio do contato direto entre eles ou por meio do uso de correias ou de eixos. A seguir, discutiremos cada um desses casos.

Transmissão por contato

Quando há transmissão de movimento circular de um disco a outro por meio do contato direto entre eles, os dois discos apresentam a mesma velocidade linear, desde que não haja deslizamento entre eles.

Dessa forma, temos:

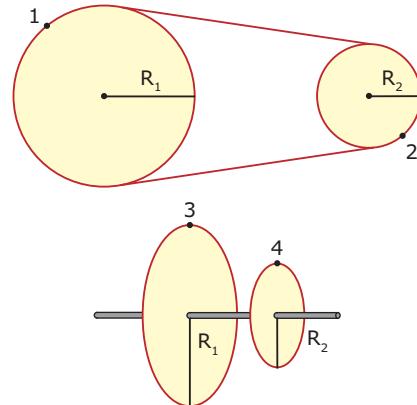
$$v_A = v_B \Rightarrow \omega_A R_A = \omega_B R_B$$

Considerando a figura anterior, temos que $R_A > R_B$. Logo, $\omega_A < \omega_B$, ou seja, o disco B gira mais rápido que o disco A. Consequentemente, a frequência do disco A é menor que a frequência do disco B. Em outras palavras, como $v/R = \omega = 2\pi f$, e lembrando que v é constante, concluímos que a velocidade angular ω e a frequência f são inversamente proporcionais ao raio. Assim, por exemplo, se na figura anterior R_A for igual a $2R_B$, então, f_A será igual a $f_B/2$. No caso de engrenagens, em que o acoplamento se dá por encaixe entre os dentes, o raciocínio é o mesmo. Como última nota sobre esse tipo de transmissões de movimentos, é importante perceber que os dois discos (ou engrenagens) giram em sentidos opostos, como pode ser observado na figura anterior.

Transmissão por correia

Quando a transmissão de movimento circular de um disco a outro se dá por meio do uso de correias, os dois discos, assim como no caso de transmissão por contato, apresentam a mesma velocidade linear. A condição para isso ocorrer é a de que não haja deslizamento entre os discos e a correia.

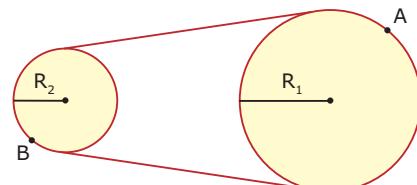
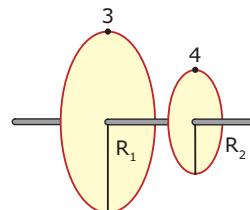
Naturalmente, como a velocidade escalar v é constante, a mesma proporção inversa entre f (ou ω) e R, que deduzimos na transmissão por contato, também é verificada na transmissão por correia. Por isso, quando pedalamos uma bicicleta, impondo uma frequência f_A na coroa (disco A), aparece uma frequência f_B maior para a catraca (disco B). Por exemplo, para $R_A = 2R_B$, temos $f_B = 2f_A$.

Transmissão por eixo

Nesse tipo de acoplamento, todas as engrenagens encontram-se presas a um único eixo que, ao girar, faz com que essas engrenagens girem com a mesma velocidade angular. Consequentemente, as engrenagens apresentarão, também, a mesma frequência de rotação que o eixo.

Sendo assim, temos que:

$$\omega_A = \omega_B \Rightarrow \frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B}$$

Essa equação mostra que a velocidade escalar v e o raio R do disco são grandezas diretamente proporcionais. Por exemplo, na figura anterior, veja que A é um ponto na periferia de uma roda dentada maior e que B é um ponto na periferia de uma roda dentada menor. Então, $R_A > R_B$. Consequentemente, $v_A > v_B$. Podemos estender esse raciocínio para um ponto na periferia do pneu. Quanto maior for o raio do pneu em relação ao raio das rodas dentadas centrais (catracas), maior será o aumento da velocidade. Na verdade, a velocidade escalar na periferia do pneu representa a própria velocidade de translação da bicicleta. Por isso, para proporcionar maiores velocidades, os diâmetros dos pneus de bicicletas são, em geral, muito grandes.

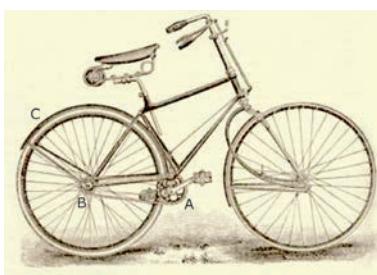
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

03. As figuras a seguir mostram duas polias de raios R_1 e R_2 que apresentam movimento circular uniforme. As polias são conectadas uma a outra por dois tipos de acoplamentos: por correia e por eixo.

Os pontos 1, 2, 3 e 4 são pontos pertencentes às extremidades das polias. Sobre o valor da aceleração centrípeta (a_c) desses pontos, é correto afirmar que

A) $a_{c_1} < a_{c_2}$ e $a_{c_3} < a_{c_4}$.

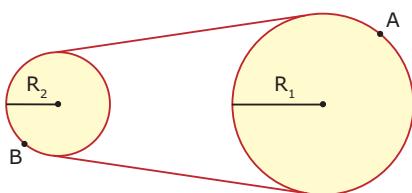
B) $a_{c_1} < a_{c_2}$ e $a_{c_3} > a_{c_4}$.

C) $a_{c_1} > a_{c_2}$ e $a_{c_3} > a_{c_4}$.

D) $a_{c_1} > a_{c_2}$ e $a_{c_3} < a_{c_4}$.

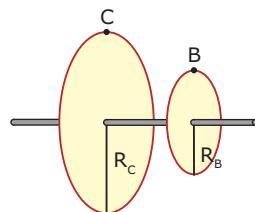
Resolução:

No acoplamento por correia, temos que $v_1 = v_2$. Observando a figura, podemos concluir que $R_1 > R_2$. Como $a_c = v^2/R$ e sendo $v_1 = v_2$, temos que a aceleração centrípeta é inversamente proporcional ao raio da polia. Logo, como $R_1 > R_2$, temos que $a_{c_1} < a_{c_2}$.

No acoplamento por eixo, temos que $\omega_3 = \omega_4$. A partir da figura, podemos concluir que $R_1 > R_2$. Sendo $v = \omega R$, temos que $a_c = v^2/R = (\omega R)^2/R = \omega^2 R$. Como $\omega_3 = \omega_4$, temos que a aceleração centrípeta será diretamente proporcional ao raio das polias. Logo, sendo $R_1 > R_2$, temos que $a_{c_3} > a_{c_4}$. Dessa forma, a alternativa correta é a B.

04.

A figura anterior mostra uma antiga bicicleta, na qual estão marcados os pontos A, B e C. O ponto A encontra-se na periferia da coroa, o ponto B, na periferia da catraca, e o ponto C encontra-se na periferia da roda traseira. Sejam $f_A = 1$ Hz a frequência do movimento descrito pelo ponto A, e $R_A = 10$ cm, $R_B = 2,5$ cm e $R_C = 40$ cm os raios das circunferências descritas pelos respectivos pontos.

A) Determinar qual dos três pontos, A, B ou C, está sujeito a maior aceleração centrípeta.

B) Determinar o módulo da velocidade de translação da bicicleta.

Resolução:

A) Inicialmente, vamos isolar a coroa e a catraca, onde se encontram os pontos A e B.

A frequência do movimento descrito pelo ponto A é de 1 Hz, e o raio da circunferência descrita por ele é de 10 cm, isto é, 0,1 m. Logo, o módulo de sua velocidade linear é $v_A = 2\pi Rf = 2\pi.0,1.1 = 0,2\pi$ m/s.

Como a coroa e a catraca encontram-se interligadas por uma corrente e esta passa pela periferia das mesmas, podemos concluir que todos os pontos das periferias da coroa e da catraca possuem a mesma velocidade escalar, $0,2\pi$ m/s.

Como o valor de v é o mesmo para os pontos A e B, podemos concluir que a frequência dos movimentos descritos por esses pontos será inversamente proporcional aos raios de suas trajetórias, isto é, $R_Af_A = R_Bf_B$. Como o raio da catraca é 4 vezes menor que o raio da coroa, a frequência do movimento descrito pelo ponto B será quatro vezes maior do que a do movimento descrito pelo ponto A. Logo, $f_B = 4$ Hz.

A catraca e a roda da bicicleta estão conectadas pelo mesmo eixo, como mostra a figura seguinte.

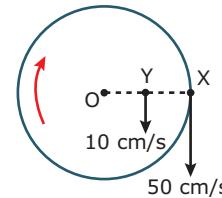
Isso significa que a frequência do movimento descrito pela roda C também será de 4 Hz. A relação $v = 2\pi Rf$ nos mostra que, sendo a frequência constante, $v \propto R$. Logo, como o ponto C está a uma distância dezesseis vezes maior do eixo que o ponto B, sua velocidade linear será dezesseis vezes maior que a do ponto B, ou seja, $v_C = 3,2\pi$ m/s.

O módulo da aceleração centrípeta a que estão submetidos os pontos A, B e C da coroa, da catraca e da roda da bicicleta, respectivamente, podem ser calculados por meio da relação:

$$a_c = \omega^2R \text{ ou } a_c = (2\pi f)^2R = 4\pi^2f^2R$$

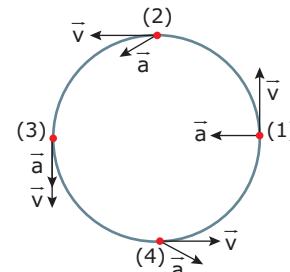
Logo:

$a_{c_A} = 4\pi^2.1^2.0,10 = 0,4\pi^2$ m/s²

$a_{c_B} = 4\pi^2.4^2.0,025 = 1,6\pi^2$ m/s²

$a_{c_C} = 4\pi^2.4^2.0,4 = 25,6\pi^2$ m/s²

Desse modo, o ponto C está sujeito a maior aceleração centrípeta.

B) Como o ponto C está na periferia da roda traseira e esta está em contato com o solo, podemos afirmar que o módulo da velocidade de translação da bicicleta é igual ao módulo da velocidade do ponto C. Sendo assim, o módulo da velocidade de translação da bicicleta é de $3,2\pi$ m/s.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UECE) A figura mostra um disco que gira em torno do centro O. A velocidade do ponto X é 50 cm/s e a do ponto Y é de 10 cm/s.

A distância XY vale 20 cm. Pode-se afirmar que o valor da velocidade angular do disco, em radianos por segundo, é

A) 2,0. B) 5,0. C) 10,0. D) 20,0.

02. (UFSJ-MG) Um corpo percorre a trajetória circular indicada na figura a seguir, com movimento uniformemente acelerado. O ponto em que os seus vetores velocidade e aceleração estão indicados **CORRETAMENTE** é o da alternativa

A) 2. B) 4. C) 3. D) 1.

03. (UFU-MG–2006) Um relógio com mecanismo defeituoso atrasa 10 minutos a cada hora. A velocidade angular média do ponteiro maior desse relógio, quando calculada com o uso de um relógio sem defeitos, vale, em rad/s,

A) $\pi/2\ 160$.
B) $\pi/2\ 100$.
C) $\pi/3\ 600$.
D) $\pi/1\ 500$.

04. (PUC Minas) Um móvel parte do repouso, de um ponto sobre uma circunferência de raio R, e efetua um movimento circular uniforme de período igual a 8 s. Após 18 s de movimento, o seu vetor deslocamento tem módulo igual a

A) 0.
B) R.
C) 2R.
D) 2R/3.
E) $R\sqrt{2}$.

05. (VUNESP) Duas polias, A e B, de raios R e R', com R < R', podem girar em torno de dois eixos fixos e distintos, interligadas por uma correia. As duas polias estão girando e a correia não escorrega sobre elas. Então, pode-se afirmar que a(s) velocidade(s)

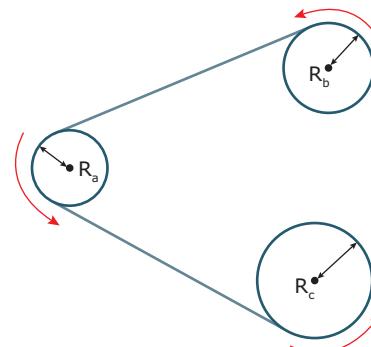
A) angular de A é menor que a de B, porque a velocidade tangencial de B é maior que a de A.
B) angular de A é maior que a de B, porque a velocidade tangencial de B é menor que a de A.
C) tangenciais de A e de B são iguais, porém a velocidade angular de A é menor que a velocidade angular de B.
D) angulares de A e de B são iguais, porém a velocidade tangencial de A é maior que a velocidade tangencial de B.
E) angular de A é maior que a velocidade angular de B, porém ambas têm a mesma velocidade tangencial.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (PUC Rio–2007) Um menino passeia em um carrossel de raio R. Sua mãe, do lado de fora do carrossel, observa o garoto passar por ela a cada 20 s. Determine a velocidade angular do carrossel em rad/s.

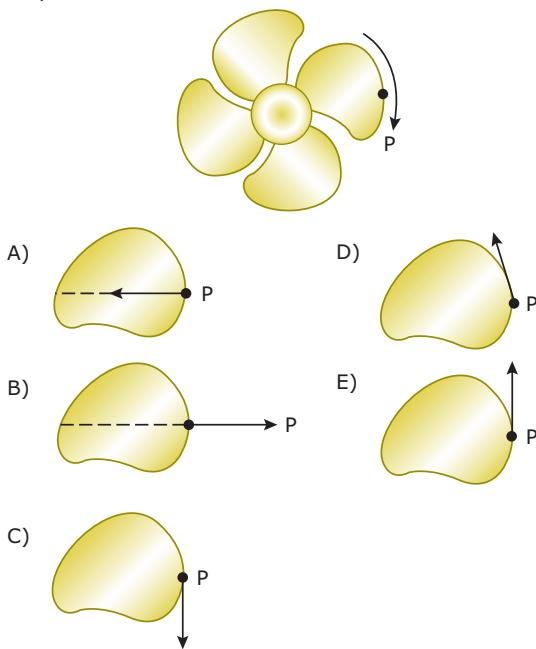
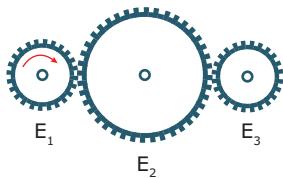
A) $\pi/4$ B) $\pi/2$ C) $\pi/10$ D) $3\pi/2$ E) 4π

02. (UNIFESP) Pai e filho passeiam de bicicleta e andam lado a lado com a mesma velocidade. Sabe-se que o diâmetro das rodas da bicicleta do pai é o dobro do diâmetro das rodas da bicicleta do filho. Pode-se afirmar que as rodas da bicicleta do pai giram com

A) a metade da frequência e da velocidade angular com que giram as rodas da bicicleta do filho.
B) a mesma frequência e velocidade angular com que giram as rodas da bicicleta do filho.
C) o dobro da frequência e da velocidade angular com que giram as rodas da bicicleta do filho.
D) a mesma frequência das rodas da bicicleta do filho, mas com metade da velocidade angular.
E) a mesma frequência das rodas da bicicleta do filho, mas com o dobro da velocidade angular.

03. (OBF / Adaptado) Um entregador de mercadorias de um armazém utiliza um tipo especial de bicicletas em que a roda da frente tem um diâmetro duas vezes menor que o diâmetro da roda traseira para que, na frente, possam ser colocadas mercadorias em um local adequado. Quando esse veículo está em movimento, pode-se afirmar **CORRETAMENTE** que

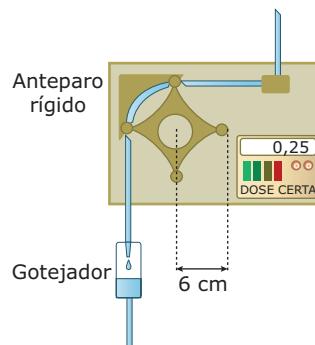
A) o período de rotação do pneu menor é a metade do período de rotação do pneu maior.
B) o pneu menor tem frequência de rotação quatro vezes maior que a do maior.
C) o pneu menor tem a mesma frequência de rotação que a do pneu maior.
D) as velocidades angulares de rotação dos pneus são iguais.

04. (PUC Rio) O centro de um furacão se desloca com uma velocidade de 150 km/h na direção norte-sul, seguindo para o norte. A massa gasosa desse furacão realiza uma rotação ao redor de seu centro no sentido horário, com raio R = 100 km. Determine a velocidade de rotação da massa gasosa do furacão em rad/h, sabendo que a velocidade do vento medida por repórteres em repouso, nas extremidades leste e oeste do furacão, é de 100 km/h e 200 km/h, respectivamente.

A) 0,1
B) 0,5
C) 1,0
D) 1,5
E) 2,0

05. (UFU-MG–2007) Três rodas de raios R_a, R_b e R_c possuem velocidades angulares ω_a, ω_b e ω_c, respectivamente, e estão ligadas entre si por meio de uma correia, como ilustra a figura adiante.

Ao mesmo tempo que a roda de raio R_b realiza duas voltas, a roda de raio R_c realiza uma volta. Não há deslizamento entre as rodas e a correia. Sendo $R_c = 3R_a$, é **CORRETO** afirmar que

A) $R_b = (4/3)R_a$ e $\omega_a = (4/3)\omega_c$.
B) $R_b = (4/3)R_a$ e $\omega_a = 3\omega_c$.
C) $R_b = (3/2)R_a$ e $\omega_a = (4/3)\omega_c$.
D) $R_b = (3/2)R_a$ e $\omega_a = 3\omega_c$.

06. (UFMG) Um ventilador acaba de ser desligado e está parando vagarosamente, girando no sentido horário. A direção e o sentido da aceleração da pá do ventilador no ponto P são

07. (UFMG) A figura mostra três engrenagens, E_1, E_2 e E_3, fixas pelos seus centros e de raios R_1, R_2 e R_3, respectivamente. A relação entre os raios é $R_1 = R_3 < R_2$. A engrenagem da esquerda (E_1) gira no sentido horário, com período T_1.

Sendo T_2 e T_3 os períodos de E_2 e E_3, respectivamente, pode-se afirmar que as engrenagens vão girar de tal maneira que

A) $T_1 = T_2 = T_3$, com E_3 girando em sentido contrário a E_1.

B) $T_1 = T_3 < T_2$, com E_3 girando em sentido contrário a E_1.

C) $T_1 = T_2 = T_3$, com E_3 girando no mesmo sentido que E_1.

D) $T_1 = T_3 < T_2$, com E_3 girando no mesmo sentido que E_1.

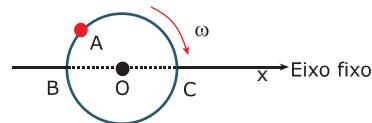
08. (PUC Minas–2010) "Nada como um dia após o outro". Certamente esse dito popular está relacionado de alguma forma à rotação da Terra em torno de seu próprio eixo, realizando uma volta completa a cada 24 horas. Pode-se então dizer que cada hora corresponde a uma rotação de

A) 180º.

B) 360º.

C) 15º.

D) 90º.

09. (FGV-SP–2010) Fazendo parte da tecnologia hospitalar, o aparelho representado na figura é capaz de controlar a administração de medicamentos em um paciente.

Regulando-se o aparelho para girar com frequência de 0,25 Hz, pequenos roletes das pontas da estrela, distantes 6 cm do centro desta, esmagam a mangueira flexível contra um anteparo curto e rígido, fazendo com que o líquido seja obrigado a se mover em direção ao gotejador. Sob essas condições, a velocidade escalar média imposta ao líquido em uma volta completa da estrela é, em m/s,

Dado: $\pi = 3,1$

A) $2,5 \times 10^{-2}$.

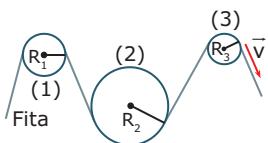
B) $4,2 \times 10^{-2}$.

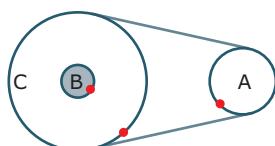
C) $5,0 \times 10^{-2}$.

D) $6,6 \times 10^{-2}$.

E) $9,3 \times 10^{-2}$.

10. (FUVEST-SP) Um disco tem seu centro fixo no ponto O do eixo fixo x da figura e possui uma marca no ponto A de sua periferia. O disco gira com velocidade angular constante ω em relação ao eixo. Uma pequena esfera é lançada do ponto B do eixo em direção ao centro do disco, no momento em que o ponto A passa por B. A esfera desloca-se sem atrito, passa pelo centro do disco, e após 6 s atinge a periferia do disco exatamente na marca A, no instante em que esta passa pelo ponto C do eixo x. Se o tempo gasto pela esfera para percorrer o segmento BC é superior ao necessário para que o disco dê uma volta, mas é inferior ao tempo necessário para que o disco dê duas voltas, o período de rotação do disco é de

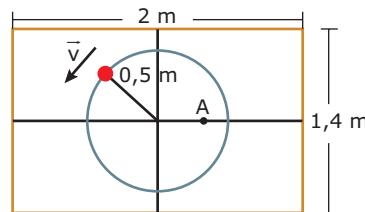
A) 2 s. B) 3 s. C) 4 s. D) 5 s. E) 6 s.

11. (UEPB) A bicicleta move-se a partir do movimento dos pedais, os quais fazem girar uma roda dentada chamada coroa, por meio de uma corrente. Esta coroa está acoplada a outra roda dentada, chamada de catraca, a qual movimenta a roda traseira da bicicleta. Um ciclista, preparando sua bicicleta para um torneio, percebeu que a coroa tem um raio 5 vezes maior que o da catraca. Por ser aluno de Física, ele raciocinou: "para que eu vença o torneio, se faz necessário que eu pedale na minha bicicleta à razão de 40 voltas por minuto, no mínimo". A partir dessas informações, pode-se afirmar que a frequência de rotação da roda da bicicleta, em rotação por minuto (rpm), vale

A) 160.
B) 180.
C) 200.
D) 220.
E) 170.

12. (UFV-MG–2007) Um automóvel encontra-se em repouso no interior de um estacionamento, a 20 m de um portão eletrônico inicialmente fechado. O motorista aciona, então, o controle remoto do portão, que passa a girar em torno de seu eixo fixo à velocidade constante de $\pi/40$ rad/s. Simultaneamente, o veículo começa a mover-se retilineamente em direção ao portão, com aceleração constante. A aceleração que o motorista deve imprimir ao veículo para que atinja a saída do estacionamento no exato instante em que o portão acaba de descrever um ângulo de $\pi/2$ rad, abrindo-se totalmente, tem módulo de

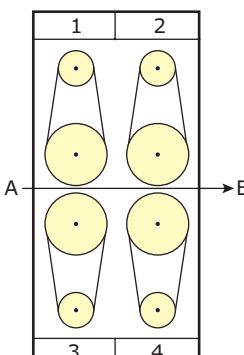
A) 0,01 m/s^2.
B) 0,10 m/s^2.
C) 1,00 m/s^2.
D) 0,80 m/s^2.
E) 0,08 m/s^2.

13. (FEI-SP) Um dispositivo mecânico apresenta três polias (1), (2) e (3) de raios R_1 = 6 cm, R_2 = 8 cm e R_3 = 2 cm, respectivamente, pelas quais passa uma fita que se movimenta, sem escorregamento, conforme indicado na figura. Se a polia (1) efetua 40 rpm, qual é, em segundos, o período do movimento da polia (3)?

A) 0,5
B) 1,2
C) 2,0
D) 2,5
E) 3,2

14. (UEPG-PR–2007) Uma polia A é ligada a uma polia B através de uma correia e esta é acoplada a uma polia C, conforme mostra a figura a seguir. Sobre este evento, assinale o que for **CORRETO**.

01. A velocidade angular de B é menor que a velocidade angular de A.
02. As relações entre as velocidades angulares e lineares ocorrem através do raio de cada polia.
04. A velocidade linear de um ponto localizado na periferia de A é igual a de um ponto localizado na periferia de B.
08. As velocidades angulares das polias A e C são iguais.
16. A velocidade linear de A é igual à velocidade angular de C.

Soma (   )

15. (UFRRJ–2006) Um disco gira sem atrito sobre uma mesa horizontal, preso por um fio de 50 cm, como mostra a figura. Ele completa 300 voltas em 1 minuto.

Usar g = 10 m/s^2 sempre que necessário.

A) **DETERMINE** o módulo da velocidade do disco.
B) Qual o tempo em que ele permanece na mesa após o rompimento do fio no ponto A?

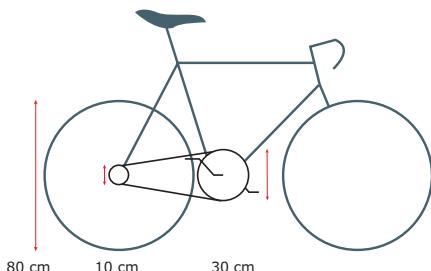
Considere π = 3

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2006) Na preparação da madeira em uma indústria de móveis, utiliza-se uma lixadeira constituída de quatro grupos de polias, como ilustra o esquema a seguir. Em cada grupo, duas polias de tamanhos diferentes são interligadas por uma correia provida de lixa. Uma prancha de madeira é empurrada pelas polias, no sentido A → B (como indicado no esquema), ao mesmo tempo em que um sistema é acionado para frear seu movimento, de modo que a velocidade da prancha seja inferior à da lixa. O equipamento anteriormente descrito funciona com os grupos de polias girando da seguinte forma:

A) 1 e 2 no sentido horário; 3 e 4 no sentido anti-horário.
B) 1 e 3 no sentido horário; 2 e 4 no sentido anti-horário.
C) 1 e 2 no sentido anti-horário; 3 e 4 no sentido horário.
D) 1 e 4 no sentido horário; 2 e 3 no sentido anti-horário.
E) 1, 2, 3 e 4 no sentido anti-horário.

Instrução: Leia o texto a seguir e responda às questões.

As bicicletas possuem uma corrente que liga uma coroa dentada dianteira, movimentada pelos pedais, a uma coroa localizada no eixo da roda traseira, como mostra a figura.

O número de voltas dadas pela roda traseira a cada pedalada depende do tamanho relativo dessas coroas.

02. (Enem–1998) Em que opção a seguir a roda traseira dá o maior número de voltas por pedalada?

A)

B)

C)

D)

E)

03. (Enem–1998) Quando se dá uma pedalada na bicicleta a seguir (isto é, quando a coroa acionada pelos pedais dá uma volta completa), qual é a distância aproximada percorrida pela bicicleta, sabendo-se que o comprimento de um círculo de raio R é igual a $2\pi R$, em que $\pi = 3$?

A) 1,2 m
B) 2,4 m
C) 7,2 m
D) 14,4 m
E) 49,0 m

04. (Enem–1998) Com relação ao funcionamento de uma bicicleta de marchas, em que cada marcha é uma combinação de uma das coroas dianteiras com uma das coroas traseiras, são formuladas as seguintes afirmativas:

I. numa bicicleta que tenha duas coroas dianteiras e cinco traseiras, temos um total de dez marchas possíveis, em que cada marcha representa a associação de uma das coroas dianteiras com uma das traseiras.

II. em alta velocidade, convém acionar a coroa dianteira de maior raio com a coroa traseira de maior raio também.

III. em uma subida íngreme, convém acionar a coroa dianteira de menor raio e a coroa traseira de maior raio.

Entre as afirmações anteriores, estão corretas

A) I e III, apenas.
B) I, II e III.
C) I e II, apenas.
D) II, apenas.
E) III, apenas.

GABARITO

Fixação

01. A
02. A
03. A
04. E
05. E

Propostos

01. C
02. A
03. A
04. B
05. D
06. D
07. D
08. C
09. E
10. C
11. C
12. B
13. A
14. Soma = 3
15. A) 15 m/s
    B) 0,047 s

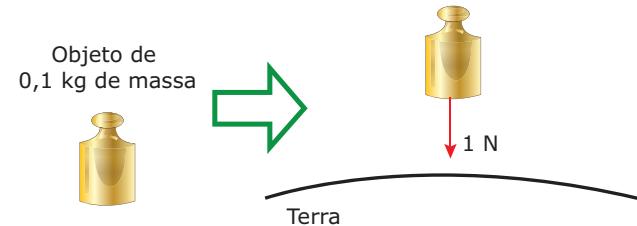
Seção Enem

01. C
02. A
03. C
04. A

FÍSICA

Leis de Newton

MÓDULO 06 FRENTE A

Filósofos como Aristóteles influenciaram fortemente o modo de pensar do Ocidente por muitos anos, utilizando-se de uma arquitetura de mundo calcada em pressupostos que, hoje, para nós, são estranhos, mas que para o Mundo Antigo eram perfeitamente coerentes. Hoje, interpretamos o mundo de um modo fortemente influenciado pelas ideias desenvolvidas por Isaac Newton (1642-1727). Os conceitos por ele desenvolvidos e a sua maneira de abordar os fenômenos naturais influenciaram áreas como a Filosofia, a Economia, a Literatura e foram, durante muito tempo, padrão para diversos ramos do conhecimento humano. Como sempre acontece nas Ciências, a atual explicação para a causa dos movimentos dos corpos também teve de enfrentar muita disputa e discussão antes de ser plenamente reconhecida.

Neste módulo, apresentaremos alguns dos conceitos desenvolvidos por Newton e estudaremos as suas três leis do movimento, conhecidas como Leis de Newton para o movimento dos corpos. A interpretação e a aplicação dessas leis a fenômenos térmicos e elétricos mostraram-se muito eficazes, criando o paradigma newtoniano, no qual o mundo é regido por leis mecânicas – leis simples, abrangentes e corroboradas pela experimentação –, em que o conceito de força tem uma função fundamental. Na interpretação do mundo, de acordo com os conceitos desenvolvidos por Newton, busca-se a explicação causal para os movimentos observados na natureza, a **dinâmica** do Universo.

CONCEITO DE FORÇA

O conceito de força tem um papel central na mecânica newtoniana, uma vez que a força é responsável por alterar o estado dos objetos: fazê-los entrar em movimento quando estão parados, fazê-los parar quando estão se movendo, alterar a direção de objetos que estão em movimento, deformar os objetos, etc. Denominamos de força o agente capaz de realizar as transformações anteriormente citadas, seja essa força realizada por nossos músculos ou pela ação de poderosos ímãs, por exemplo.

A força é uma grandeza vetorial e, portanto, está sujeita a todas as propriedades já estudadas para os vetores. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de força é o newton (N). Uma força de 1 newton (1 N) é, aproximadamente, a força com que a Terra atrai um objeto de massa igual a 0,1 kg quando este se encontra ao nível do mar e a 45º de latitude norte[1]. A descrição desses detalhes é necessária, uma vez que a intensidade com que a Terra atrai um objeto qualquer depende do local onde esse objeto se encontra.

Existem outras unidades de força além daquela adotada pelo Sistema Internacional, o newton. O quilograma-força (kgf) é uma unidade de força muito utilizada e equivale ao peso de um objeto de massa igual a 1 kg. Mais uma vez, lembramos que esse valor está associado ao local no qual a experiência é feita. A relação anterior nos permite concluir que 1 kgf $\cong$ 10 N.

Uma das maneiras de medir a intensidade de uma força é utilizar aparelhos conhecidos como dinamômetros (figura 1a). Basicamente, os dinamômetros são construídos com uma mola, que é previamente calibrada, à qual associa-se uma escala de valores. Um dinamômetro bastante conhecido por todos é a "balança" de banheiro (figura 1b). Ao subirmos na plataforma de uma balança, pressionamos uma mola. A deformação desta está associada a uma determinada intensidade de força e, dessa forma, a balança registra esse valor em sua escala. É desse modo que medimos nosso "peso".

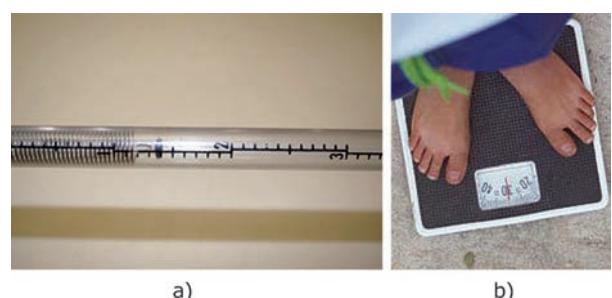



Figura 1: a) Imagem de um dinamômetro típico utilizado em laboratórios escolares. b) dinamômetro de banheiro, mais conhecido como balança de banheiro.

1. Um valor mais preciso dessa força de atração seria de 0,98 N.

A NATUREZA DAS FORÇAS

Hoje, classificamos as forças naturais em 4 tipos:

- força eletromagnética
- força gravitacional
- força nuclear forte
- força nuclear fraca

Praticamente todas as forças com as quais estamos habituados a lidar são dos dois primeiros tipos. A força de atrito, a tração em cordas, a força muscular e a força de compressão são forças de natureza eletromagnética. Já a força peso tem, por sua vez, origem gravitacional. Essas forças estão presentes em várias situações do nosso dia a dia, e, por isso, nosso estudo enfatizará esses dois tipos de força. As outras duas naturezas de força mencionadas, nuclear forte e fraca, só se manifestam no mundo subatômico. Essas forças são responsáveis pela estabilidade que encontramos na matéria que compõe nosso mundo.

Alguns autores classificam as forças existentes na natureza em forças de contato e forças de campo (ou de ação à distância). Na primeira classe – forças de contato –, existe um aparente contato entre as superfícies dos corpos que interagem, como quando apertamos o botão de uma campainha ou quando seguramos uma faca. Forças como a tensão em uma corda, a força muscular e a força normal, por exemplo, são classificadas como forças de contato.

As forças de campo (ou de ação à distância) são aquelas que atuam em situações nas quais os corpos interagem uns com os outros sem a necessidade de contato aparente, como é o caso da força gravitacional, das forças entre ímãs ou entre um ímã e um prego. Forças elétricas, magnéticas e gravitacionais são exemplos de forças classificadas como forças de campo (geradas pelo campo elétrico, pelo campo magnético e pelo campo gravitacional, respectivamente).

Utilizamos o termo "contato aparente" ao nos referirmos às forças de contato, pois sabe-se que as forças de repulsão elétrica que atuam nesses casos, quando aproximamos muito dois corpos, possuem módulos altíssimos, não permitindo que exista contato direto entre as moléculas dos dois corpos que interagem.

FORÇA RESULTANTE E O EQUILÍBRIO

Considere um pequeno carro de brinquedo no qual você dá um empurrão, primeiro com uma força de pequena intensidade e, posteriormente, com uma força mais intensa. O efeito das forças sobre o carrinho, nas duas situações descritas, será diferente; provavelmente, na primeira situação, a distância percorrida por ele antes de parar foi menor do que na segunda situação. Caso você empurre o carrinho para frente e, posteriormente, para trás, o sentido de movimento do carrinho também será diferente em cada uma das situações. Como os efeitos da força sobre o carrinho dependem da intensidade, da direção e do sentido da força, dizemos que a força é uma grandeza vetorial. Os diagramas que representam as forças por meio de vetores são denominados diagrama de forças ou diagrama de corpo livre.

Consideremos uma situação na qual um menino está em um brinquedo de um parque de diversão. As forças que atuam sobre o menino podem ser representadas por meio de diagramas que mostram apenas os elementos essenciais para a compreensão dos efeitos dessas forças sobre o menino. Essa situação pode ser representada de forma simples, mas de modo que contenha todas as informações relevantes (ponto de aplicação, direção, sentido e módulo) sobre as forças que atuam sobre o menino (peso, normal e força de atrito).

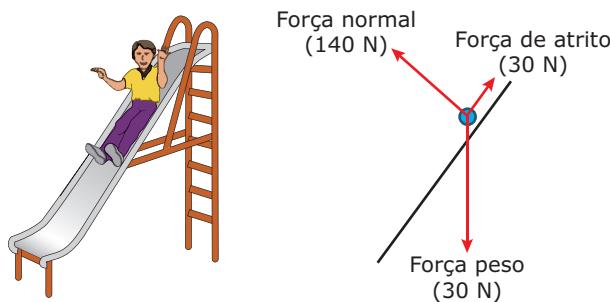



Figura 2: Situação real e o respectivo diagrama de forças que a representa.

Para o estudo das Leis de Newton, dois conceitos são muito importantes, o conceito de força resultante, F_R, e o conceito de equilíbrio de um corpo.

- FORÇA RESULTANTE

É o resultado da soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um determinado corpo. A aplicação matemática desse conceito será imprescindível para a resolução de uma série de exercícios.

- EQUILÍBRIO

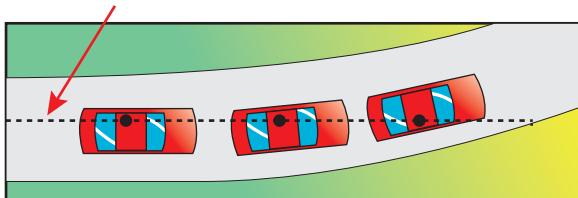
No estudo da Dinâmica, definimos que uma **partícula** está em equilíbrio quando a resultante das forças que atuam sobre ela é zero, isto é, várias forças podem atuar sobre a **partícula**, porém, a soma vetorial de todas essas forças deve ser nula.

$$\text{EQUILÍBRIO} \Rightarrow \vec{F}_R = 0$$

1ª LEI DE NEWTON

Todo objeto permanece em estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar aquele estado por forças que atuem sobre ele.

A afirmativa anterior, portanto, se relaciona às situações de ausência de força ou de força resultante nula atuando sobre um corpo. Nesses casos, o corpo deve permanecer em MRU, se ele estiver com velocidade diferente de zero, ou em repouso, se a sua velocidade for nula. Essa lei tem uma importância crucial para as outras duas leis do movimento.

Todo referencial no qual as condições descritas pela 1ª Lei de Newton são obedecidas ($F_R = 0 \Rightarrow$ MRU ou repouso) é denominado **referencial inercial**. As outras duas leis do movimento, da maneira como serão descritas neste módulo, somente são válidas para esse tipo de referencial. A rigor, não existem referenciais inerciais, e o que faremos são aproximações, muito boas, para que possamos utilizar certos corpos como referenciais inerciais. Newton utilizava as estrelas, que acreditava que eram fixas, como sistemas de referenciais inerciais. A Terra pode ser considerada um referencial inercial para boa parte dos movimentos que estudamos, basicamente aqueles que ocorrem sobre a sua superfície, mas, para outros tipos de movimentos, ela não pode ser utilizada como referencial inercial.

A seguir, apresentamos dois fatos cotidianos que podem ser explicados considerando a Terra como um referencial inercial e aplicando a 1ª Lei de Newton.

Exemplo 1: Quando estamos no interior de um ônibus e o motorista é obrigado a frear bruscamente, é comum falarmos que fomos "jogados para frente". Mas, na verdade, estávamos indo para frente conjuntamente com o ônibus, desenvolvendo certa velocidade de módulo v, e tendemos a permanecer nesse estado de movimento, enquanto o estado de movimento do ônibus foi alterado. Assim, após a freagem, a velocidade final do ônibus terá módulo menor do que v e, portanto, nos movimentamos para frente em relação ao ônibus. Para alterar nosso estado de movimento, é necessário que uma força seja aplicada sobre nosso corpo. Nesse caso, como desejamos permanecer em repouso em relação ao ônibus, é necessário que uma força atue em nosso corpo em sentido oposto ao de nosso movimento, e, normalmente, essa força é aplicada pelo banco da frente ou pelo corpo de outra pessoa que estava à nossa frente.

Galileu denominou de **inércia** a propriedade de os corpos tenderem a permanecer em seu estado de movimento. Devido a esse fato, a Primeira Lei de Newton também é conhecida como Lei da Inércia de Galileu.

Exemplo 2: Quando um carro no qual nos encontramos realiza uma curva para a esquerda, temos a sensação de que estamos sendo jogados para a direita por uma força desconhecida. Na figura a seguir, que ilustra essa situação, é fácil perceber que nosso corpo tende a continuar em linha reta e o carro é que está virando. Nesse exemplo, o carro **não** é um referencial inercial, pois nosso corpo, em relação ao carro, não permaneceu em repouso, mesmo estando sujeito a uma força resultante nula.

Direção de movimento do passageiro

Em situações desse tipo, fazemos uso de uma força fictícia (não inercial) para explicar o porquê de sermos jogados para fora da curva e a denominamos de força centrífuga. Mas, lembre-se, ela é apenas um artifício para explicar o que acontece conosco no referencial não inercial do carro e não obedece às outras Leis de Newton. Quem analisa a situação do lado de fora do carro, utilizando a Terra como referencial, não necessita desse artifício para analisar nosso movimento.

Como discutido anteriormente, se a força resultante que atua sobre um corpo é nula, esse corpo estará em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme (equilíbrio dinâmico). Galileu utilizou um interessante argumento para demonstrar essa última situação. Imagine o seguinte movimento para uma esfera, solta de uma determinada altura, em uma calha com atrito desprezível (figura 3).

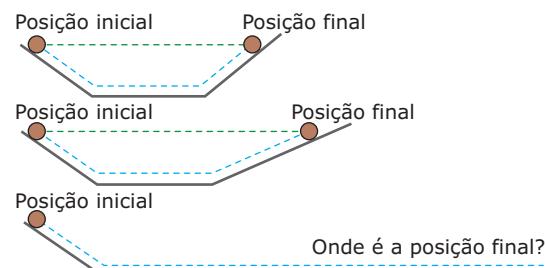
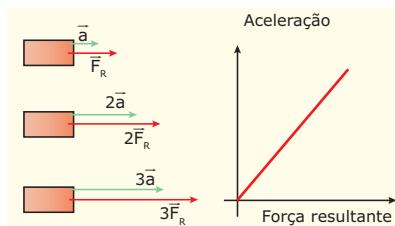
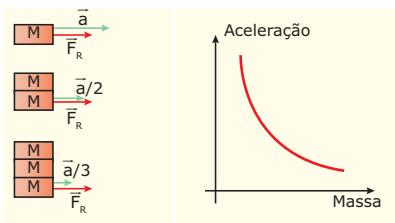



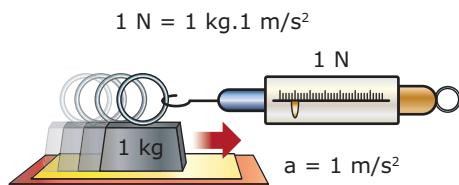
Figura 3: Experiência imaginada por Galileu para discutir o movimento retilíneo uniforme de uma esfera.

A figura 3 nos mostra uma esfera solta em um plano inclinado, entrando em movimento devido à ação da força peso. Durante esse movimento, a esfera desce um plano inclinado, percorre uma trajetória horizontal e, então, sobe outro plano inclinado, até atingir uma altura igual à altura inicial, pois o trilho não apresenta atrito. Se o trilho da direita for alongado, reduzindo sua inclinação, a esfera percorrerá uma distância maior, porém ainda continuará a atingir uma altura igual à do início do movimento. O que acontecerá, porém, se o trilho da direita for colocado na posição horizontal? Que tipo de movimento a esfera teria nesse trecho? Para Galileu, no trecho horizontal, o efeito das forças que atuam sobre o corpo não mais seria sentido por este e, dessa forma, o corpo permaneceria se movendo em linha reta e com velocidade constante.

2ª LEI DE NEWTON

A toda força resultante que atua sobre um corpo corresponde uma aceleração de mesma direção, mesmo sentido e de módulo proporcional a essa força.

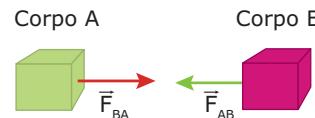
Com base em experimentos, Newton pôde obter a seguinte relação entre a força resultante e a aceleração:

$\vec{F}_R = m\vec{a}$ (2ª Lei de Newton para o movimento)

Essa relação nos permite concluir que:

A) O módulo da aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional ao módulo da força resultante. Isso significa que o gráfico da aceleração em função da força resultante, sobre uma dada massa, é uma reta que passa pela origem, conforme mostra a figura seguinte.

B) O módulo da aceleração adquirida por um corpo é inversamente proporcional à sua massa, caso a força aplicada seja constante. Isso significa que, para uma dada força, o gráfico da aceleração em função da massa é uma hipérbole, conforme mostra a figura a seguir.

Esse gráfico mostra que, ao se aplicar uma força de mesmo módulo a dois corpos diferentes, a variação de velocidade dos corpos não é, necessariamente, a mesma. A inércia, propriedade que mede a dificuldade em variar a velocidade de um objeto, é uma característica intrínseca, própria do corpo. Não importa onde essa experiência seja feita, o quociente entre o módulo da força resultante (F_R) e o módulo da aceleração (a) que atuam sobre um corpo será sempre o mesmo, a massa (m) desse corpo. Por isso, dizemos que a massa é uma medida da inércia do corpo.

C) A partir da expressão $\vec{F}_R = m\vec{a}$, podemos definir a unidade de força. Uma força resultante de 1 N é a força que, quando aplicada sobre um corpo de massa 1 kg, faz com que este adquira uma aceleração de 1 m/s². Assim, temos que 1 N = 1 kg.m/s².

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}.1 \text{ m/s}^2$$

D) Observe que a equação da 2ª Lei de Newton é uma equação vetorial, pois a força e a aceleração são grandezas de natureza vetorial. Como a massa é uma grandeza escalar sempre positiva, concluímos que a aceleração possui sempre a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante.

Tome bastante cuidado com isso, pois muitos estudantes desatentos tendem a pensar que a força resultante determina o sentido da velocidade de um corpo em um movimento. Por exemplo, quando lançamos uma pedra verticalmente para cima, o vetor velocidade, inicialmente, possui sentido para cima. Porém, a força resultante aponta para baixo, e, consequentemente, a aceleração será também voltada para baixo.

3ª LEI DE NEWTON

Para toda força de ação que um corpo A exerce sobre um corpo B, há uma força de reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto que o corpo B aplica em A.

A 3ª Lei de Newton para o movimento também é conhecida como Lei da Ação e Reação. Podemos perceber que as forças sempre se manifestam aos pares. Assim, o número total de forças presentes no Universo seria par. Por isso, muitos autores preferem utilizar a palavra interação, em vez de força, como interação elétrica e interação gravitacional, em vez de força elétrica e força gravitacional. A palavra interação já traz em seu significado a necessidade da presença de dois corpos. Observe a figura a seguir, que mostra a interação gravitacional entre os corpos A e B.

Os corpos que interagem entre si podem ser a Terra e você, uma bola de futebol e o rosto de um jogador (figura a seguir), você e o chão, um prego e um ímã, dois ímãs que se atraem ou se repelem, etc.

Um aspecto essencial dessa lei é o fato de as forças serem aplicadas em corpos diferentes. Por isso, essas forças não se anulam, apesar de elas terem sentidos opostos e de terem as mesmas intensidades. Em muitos problemas, duas forças opostas e de mesma intensidade podem agir em um corpo, de forma que a resultante entre elas seja nula. Nesse caso, essas forças, é claro, não formam um par de ação e reação.

O fato de as forças serem de igual intensidade não significa que o "efeito" dessas forças será o mesmo nos dois corpos. Entra em questão, nesse momento, a 2ª Lei de Newton. Como os corpos podem possuir massas diferentes, os efeitos dinâmicos dessas forças, de mesmo módulo, também podem ser diferentes.

Por exemplo, se um elétron e um próton forem abandonados um diante do outro, as forças de atração elétrica que um exerce sobre o outro possuem o mesmo módulo. Porém, sendo muito mais leve que o próton, o elétron estará sob a ação de uma aceleração, em direção ao próton, muito mais intensa que a aceleração do próton em direção ao elétron. O resultado é que as partículas colidirão em uma posição bem próxima à posição inicial do próton.

A figura a seguir representa uma pessoa sobre um *skate,* empurrando uma parede. A mão da pessoa empurra a parede na direção horizontal e para a direita. Simultaneamente, a parede empurra a mão da pessoa, também na direção horizontal, porém no sentido oposto, para a esquerda. Os módulos dessas forças, denominadas par de ação e reação, são iguais. Essas forças atuarão sobre a mão da pessoa e sobre a parede enquanto houver contato entre a mão e a parede; assim que o contato deixar de existir, as forças cessam.

MASSA E PESO

Massa é uma grandeza escalar que mede o valor da inércia de um corpo. Não podemos associar a massa de um objeto ao seu tamanho, mas podemos associá-la à dificuldade que encontramos em alterar o estado de repouso ou de movimento desse objeto.

Imagine uma bola de boliche e outra de futebol. Caso você aplique uma força de mesma intensidade a cada uma das bolas, perceberá logo qual delas possui maior massa. A dificuldade encontrada para mover a bola de boliche é muito maior do que para mover a bola de futebol, ou seja, a inércia da bola de boliche é muito maior do que a da bola de futebol. Portanto, podemos afirmar que a massa da bola de boliche é muito maior do que a massa da bola de futebol. Mesmo que as levássemos para o espaço, longe de qualquer planeta, e tentássemos empurrá-las, encontraríamos maior dificuldade em colocar a bola de boliche em movimento (figura 4). Não importa o local em que estejamos, a bola de boliche sempre possuirá maior inércia que a bola de futebol, pois a massa dela é maior que a massa da bola de futebol.

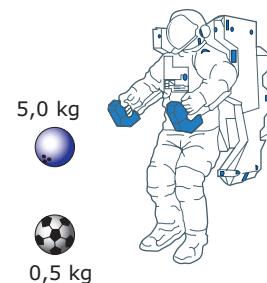
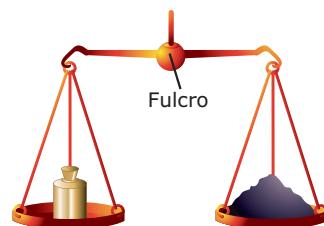
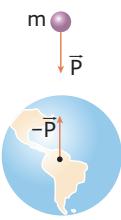



Figura 4: Uma bola de boliche possui maior inércia que uma bola de futebol, pois possui maior massa.

A unidade de massa, no Sistema Internacional (SI), é o quilograma (kg). Para comparar massas desconhecidas com massas de objetos padrões, utilizamos balanças de braço. Não importa em qual planeta nos encontremos, uma balança de braços iguais sempre registrará o mesmo valor de massa durante as medidas.

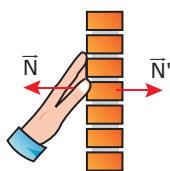
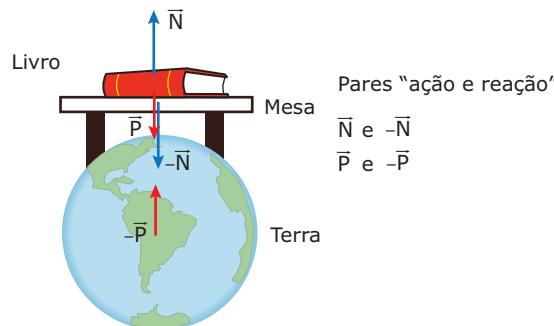
O peso é uma grandeza vetorial, associada à força de atração gravitacional que um planeta exerce sobre um corpo. Essa força é o resultado da interação entre um objeto de massa m e o campo gravitacional g do planeta onde esse objeto se encontra. O valor do campo gravitacional na superfície da Terra é muito próximo de 10 N/kg, o que significa que um objeto de massa 1 kg, colocado na superfície da Terra, será puxado em direção ao centro desta por uma força de módulo igual a 10 N. Na Lua, o valor do campo gravitacional é 1,6 N/kg; isso significa que objetos de 1 kg de massa, na superfície da Lua, serão atraídos por uma força de módulo igual a 1,6 N. Assim, podemos perceber que o valor da força de interação entre o objeto e o planeta (força peso) pode ser determinado pela relação:

$$P = mg$$

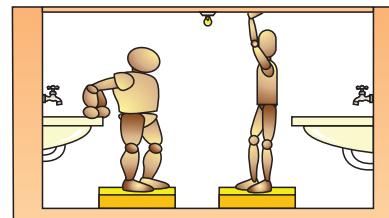
Nessa expressão, P representa o módulo da força peso, m representa o valor da massa do corpo, e g representa o módulo do campo gravitacional do planeta. O fato de estarmos utilizando o símbolo g tanto para o campo gravitacional quanto para o valor da aceleração da gravidade é intencional. Eles são coincidentes.

Veja a transformação de unidades a seguir:

$$10\ \frac{N}{kg} = 10\ \frac{kg.m/s^2}{kg} = 10\ \frac{m}{s^2}$$

FÍSICA

Como qualquer outra força, a força peso também apresenta uma reação. A figura seguinte mostra o local em que se manifesta a reação à força peso, resultado da interação entre a Terra e o objeto. A rigor, todas as porções da Terra atraem e são atraídas por qualquer objeto colocado em sua superfície, as porções mais próximas com maior intensidade e as mais distantes com menor intensidade. Newton mostrou que todas essas forças, que atuam em diversas porções da Terra isoladamente, podem ser representadas por um único vetor que atua no centro da Terra, como representado na figura a seguir.

FORÇA NORMAL

Em quase todos os momentos de nossa vida, estamos apoiados em alguma superfície. São raras as ocasiões em que não estamos pressionando uma superfície, por exemplo, quando saltamos de paraquedas ou de *bungee jump*. Ao interagirmos com uma superfície sobre a qual nos apoiamos, exercemos sobre ela uma força de compressão ($\vec{N}'$). De acordo com a 3ª Lei de Newton, a superfície também exerce uma força sobre nosso corpo. Essa força, chamada de força normal ($\vec{N}$), possui o mesmo módulo e a mesma direção que a força de compressão, porém, apresenta sentido oposto a esta, como mostrado na figura a seguir.

Quando pressionamos verticalmente uma superfície horizontal, essa superfície exerce sobre nós uma força na direção vertical, em sentido oposto ao da força que exercemos sobre a superfície. Da mesma forma, quando pressionamos horizontalmente uma parede, esta também exerce uma força horizontal sobre nossa mão. Essa força, exercida em nossa mão, também é denominada força normal.

É muito comum os alunos confundirem a relação entre a força normal e a força peso. A rigor, não existe relação entre elas, pois essas forças têm natureza independente, ou seja, a existência de uma independe da outra. A figura a seguir mostra os pares de ação e reação associados às forças que atuam sobre um livro posto em uma mesa horizontal, que está sobre a superfície da Terra (a figura não está em escala). Observe que sobre o livro atuam duas forças: a força peso ($\vec{P}$) e a força normal ($\vec{N}$), exercida pela mesa sobre o livro.

Como o livro encontra-se em repouso, a resultante das forças que atuam sobre ele é zero. Logo, os módulos das forças peso e normal são iguais. No entanto, isso não significa que as forças peso e normal sejam um par de ação e reação. Afinal, a reação à força peso encontra-se aplicada no centro da Terra ($-\vec{P}$) e a reação à força normal é a força de compressão que o livro exerce sobre a mesa, ($-\vec{N}$).

A rigor, quando subimos em uma "balança[2]" de banheiro, ela não registra o módulo de nossa força peso, mas sim o módulo da força com que comprimimos a superfície da balança. Usualmente, esses valores são coincidentes, mas basta nos apoiarmos em uma superfície, como mostrado na figura a seguir, para alterarmos os valores usualmente registrados pela balança. O primeiro homem, que está empurrando a pia para baixo, sofre a ação de uma força para cima exercida pela pia sobre suas mãos. Por exemplo, se ele fizer uma força de 10 N sobre a pia, haverá uma redução do mesmo valor na força de compressão dos seus pés sobre a balança, que, nesse caso, registrará um valor 10 N inferior ao peso real do homem. No outro caso, em que o homem empurra o teto para cima, a reação do teto sobre ele é para baixo. Se ele empurrar o teto para cima com uma força de 10 N, a força de compressão registrada pela balança será aumentada desse valor. Se você possuir uma balança de banheiro em casa, repita essas experiências para certificar-se desses resultados.

2. O termo está entre aspas, pois, a rigor, não é uma balança, mas sim um dinamômetro. Optamos, aqui, por utilizar o termo cotidiano.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

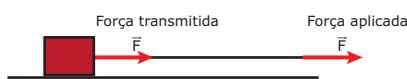
01. (UFJF-MG) Uma pessoa com uma bengala sobe na plataforma de uma balança. A balança assinala 70 kg. Se a pessoa pressiona a bengala contra a plataforma da balança, a leitura então

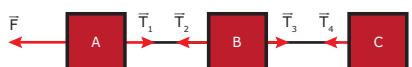
A) indicará um valor maior que 70 kg.

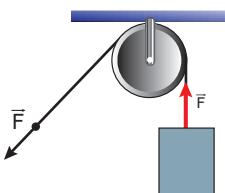
B) indicará um valor menor que 70 kg.

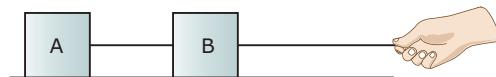
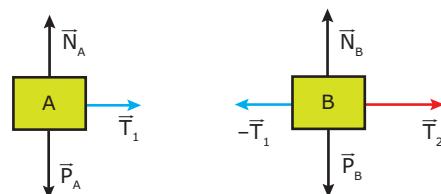
C) indicará os mesmos 70 kg.

D) dependerá da força exercida sobre a bengala.

E) dependerá do ponto em que a bengala é apoiada sobre a plataforma da balança.

Resolução:

Quando uma pessoa sobe com uma bengala em uma balança, a balança registra o "peso" total do conjunto pessoa + bengala. A pessoa, ao pressionar a bengala contra a superfície da balança, faz com que seus pés pressionem menos a superfície desta, de modo que uma ação é compensada pela outra. Sendo assim, o valor total registrado pela balança permanece inalterado. Portanto, a resposta correta é a C.

Note que esse exercício é diferente da discussão feita no final da última seção, que ilustrou os efeitos de forças sobre objetos externos à balança.

FORÇA DE TENSÃO OU TRAÇÃO

Podemos utilizar cordas para transmitir forças de um ponto a outro do espaço. Uma corda ideal é aquela que é inextensível, que possui flexibilidade e que apresenta massa desprezível em relação aos corpos aos quais está presa. Denominamos força de tensão, ou tração, a força que é transmitida de um ponto a outro de um sistema, utilizando cordas, como mostrado na figura a seguir.

Observe a figura seguinte. Se os fios são ideais, isto é, inextensíveis e de massa desprezível, temos que $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2|$ e $|\vec{T}_3| = |\vec{T}_4|$. Sempre que as tensões atuarem sobre um mesmo fio, seus módulos serão iguais.

O uso de cordas é particularmente interessante quando desejamos mudar o ângulo no qual uma força pode ser feita, como mostra a figura a seguir.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um menino deve puxar, com aceleração constante de 1,5 m/s², um conjunto de 2 blocos iguais, cada um com massa de 2 kg, conectados por fios de diferentes resistências. Considere que os fios são ideais e que não há atrito entre a superfície horizontal e os blocos. Discutir de que modo os fios devem ser conectados aos blocos para que a possibilidade de ruptura dos fios seja a menor possível.

Resolução:

Inicialmente, vamos representar as forças que atuam nos dois blocos, desenhando-os separadamente.

Bloco A: Está em equilíbrio na direção vertical e acelerado para a direita na direção horizontal. Logo, os módulos de $\vec{N}_A$ e $\vec{P}_A$ devem ser iguais e de valor 20 N ($P_A = m_A g$). Como o bloco está acelerado para a direita, a força resultante também deve estar voltada para a direita. Como temos apenas uma força atuando no bloco A na direção horizontal, $\vec{T}_1$, essa é a força resultante que atua sobre o bloco A.

$\vec{F}_{R(BLOCO\ A)} = \vec{T}_1$

$T_1 = m_A a = 2.1,5 = 3,0$ N

Bloco B: Também está em equilíbrio na direção vertical e acelerado para a direita na direção horizontal. Há duas forças atuando no bloco B na direção horizontal, $-\vec{T}_1$ para a esquerda e $\vec{T}_2$ para a direita. Como o bloco está acelerado para a direita, a força resultante também deve estar voltada para a direita (2ª Lei de Newton). Logo:

$\vec{F}_{R(BLOCO\ B)} = \vec{T}_2 + (-\vec{T}_1)$

Mas:

$F_{R(BLOCO\ B)} = m_B a \Rightarrow m_B a = T_2 - T_1$

$\Rightarrow T_2 = T_1 + m_B a = 3,0 + 2,0.1,5$

$\Rightarrow T_2 = 6,0$ N

Como $T_2 > T_1$, a corda mais resistente deve ficar entre o bloco B e a mão do menino, enquanto a menos resistente deve unir os dois blocos.

Comentário:

Já era esperado que o módulo da tensão no fio puxado pela pessoa fosse o dobro do módulo da tensão no fio que puxa o bloco A. Uma vez que todas as partes do sistema movem-se com a mesma aceleração, a força resultante que atua em certa parte do sistema é proporcional à massa dessa parte. Como a força exercida pela pessoa puxa duas massas iguais, e como a força que une os blocos puxa apenas uma dessas massas, a primeira força deve ser maior que a segunda, igual ao dobro da outra.

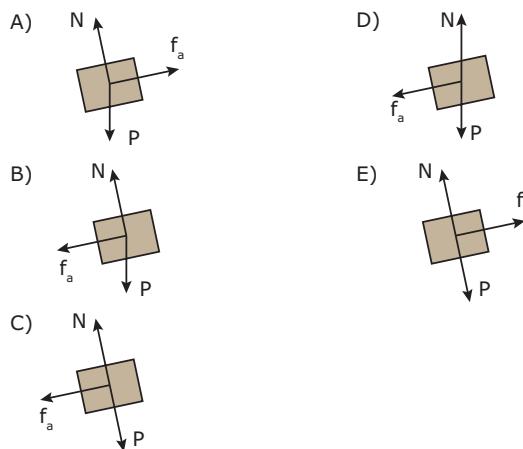
A LEI DE HOOKE[3]

Denominamos de objeto elástico os objetos que mudam de forma ao aplicarmos uma força sobre eles e que voltam a assumir sua forma original ao cessarmos a ação da força sobre eles. Um exemplo de um corpo elástico é a mola. Sabe-se que, quanto mais esticamos uma mola, maior deve ser a força que devemos aplicar às suas extremidades. Podemos usar essa propriedade para medir a intensidade das forças. Colocando uma mola na posição vertical e fixando sua extremidade superior, podemos pendurar corpos de pesos diversos em sua outra extremidade. Para certa faixa de forças aplicadas, o valor da deformação x é proporcional à força aplicada, isto é, $F_{el} \propto x$ ou:

$$F_{el} = kx$$ (Lei de Hooke)

Em que k é a constante elástica da mola. Esse tipo de deformação é denominada deformação elástica. Utilizando a equação anterior e medindo a deformação da mola, podemos calcular a intensidade da força aplicada sobre ela, desde que a constante elástica da mola seja conhecida. Se a força exercida sobre a mola for muito grande, pode acontecer de a mola perder suas propriedades elásticas e não voltar à sua forma original. Nesse caso, dizemos que a mola sofreu uma deformação plástica, e, para esse tipo de deformação, a Lei de Hooke não é mais válida.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (PUC Minas–2007) Quando um cavalo puxa uma charrete, a força que possibilita o movimento do cavalo é a força que

A) o solo exerce sobre o cavalo.

B) ele exerce sobre a charrete.

C) a charrete exerce sobre ele.

D) a charrete exerce sobre o solo.

3. *Em homenagem a Robert Hooke (1635-1705), cientista inglês.*

02. (UFV-MG) Uma caminhonete sobe uma rampa inclinada com velocidade constante, levando um caixote em sua carroceria, conforme ilustrado na figura a seguir.

Sabendo-se que P é o peso do caixote; N, a força normal do piso da caminhonete sobre o caixote; e f_a, a força de atrito entre a superfície inferior do caixote e o piso da caminhonete, o diagrama de corpo livre que **MELHOR** representa as forças que atuam sobre o caixote é

A) N, f_a, P

B)
C) N, f_a, P

D)
E) N, f_a, P

03. (PUC Minas) Em cada situação descrita a seguir, há uma força resultante agindo sobre o corpo, **EXCETO** em

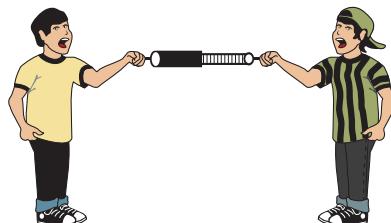
A) O corpo acelera numa trajetória retilínea.

B) O corpo se move com o módulo da velocidade constante durante uma curva.

C) O corpo se move com velocidade constante sobre uma reta.

D) O corpo cai em queda livre.

04. (UFMG–2007) Um ímã e um bloco de ferro são mantidos fixos numa superfície horizontal, como mostrado na figura a seguir.

Em determinado instante, ambos são soltos e movimentam-se um em direção ao outro, devido à força de atração magnética.

Despreze qualquer tipo de atrito e considere que a massa m do ímã é igual à metade da massa do bloco de ferro.

Sejam a_i o módulo da aceleração e F_i o módulo da resultante das forças sobre o ímã. Para o bloco de ferro, essas grandezas são, respectivamente, a_f e F_f.

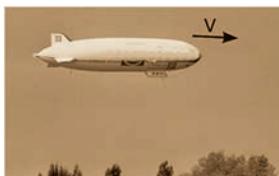
Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) $F_i = F_f$ e $a_i = a_f$.

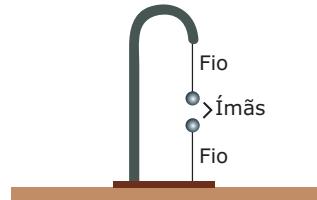
B) $F_i = F_f$ e $a_i = 2a_f$.

C) $F_i = 2F_f$ e $a_i = 2a_f$.

D) $F_i = 2F_f$ e $a_i = a_f$.

05. (CEFET-MG) Duas pessoas puxam as cordas de um dinamômetro na mesma direção e em sentidos opostos, com forças de mesma intensidade F = 100 N.

Nessas condições, a leitura do dinamômetro, em newtons, é

A) 0. B) 100. C) 200. D) 400.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFMG–2010) Nesta figura, está representado um balão dirigível, que voa para a direita, em altitude constante e com velocidade v, também constante.

Sobre o balão, atuam as seguintes forças: o peso P, o empuxo E, a resistência do ar R e a força M, que é devida à propulsão dos motores. Assinale a alternativa que apresenta o diagrama de forças em que estão **MAIS BEM** representadas as forças que atuam sobre esse balão.

A)

B)

C)

D)

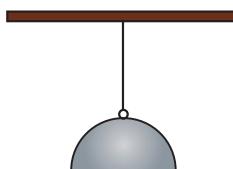
02. (UFMG) Dois ímãs, presos nas extremidades de dois fios finos, estão em equilíbrio, alinhados verticalmente, como mostrado na figura a seguir:

Nessas condições, o módulo da tensão no fio que está preso no ímã de cima é

A) igual ao módulo da tensão no fio de baixo.

B) igual ao módulo do peso desse ímã.

C) maior que o módulo do peso desse ímã.

D) menor que o módulo da tensão no fio de baixo.

03. (UFJF-MG–2009) Considere as seguintes informações:

I. Segundo a 1ª Lei de Newton, é necessária uma força resultante para manter com velocidade constante o movimento de um corpo se deslocando numa superfície horizontal sem atrito.

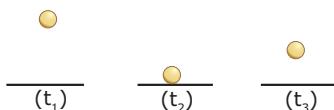
II. De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração adquirida por um corpo é a razão entre a força resultante que age sobre o corpo e sua massa.

III. Conforme a 3ª Lei de Newton, a força peso e a força normal constituem um par ação-reação.

Assinale a alternativa que contém as afirmações **CORRETAS**.

A) I e II C) II e III E) Todas estão corretas.

B) I e III D) Somente II

04. (UNIFESP–2008) Na figura, está representado um lustre pendurado no teto de uma sala.

Nessa situação, considere as seguintes forças:

I. O peso do lustre, exercido pela Terra, aplicado no centro de gravidade do lustre.

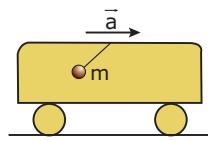
II. A tração que sustenta o lustre, aplicada no ponto em que o lustre se prende ao fio.

III. A tração exercida pelo fio no teto da sala, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.

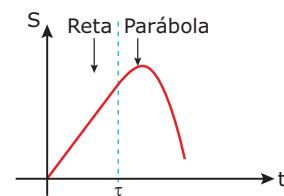
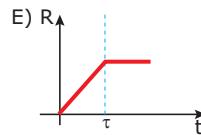
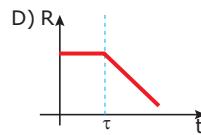
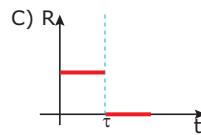
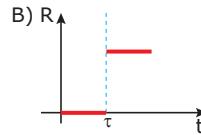
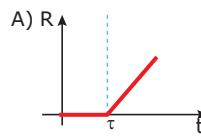
IV. A força que o teto exerce no fio, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.

Dessas forças, quais configuram um par ação-reação de acordo com a Terceira Lei de Newton?

A) I e II C) III e IV E) II e IV

B) II e III D) I e III

05. (UFU-MG) Na sequência a seguir, estão representados três instantes do movimento de queda livre de uma bola de borracha: no instante t_1, a bola encontra-se em movimento descendente; no instante t_2, ela atinge o solo e, no instante t_3, a bola desloca-se no sentido contrário ao seu sentido inicial (movimento ascendente).

Assinale a alternativa na qual a força resultante ($\vec{F}$), a velocidade ($\vec{v}$) e a aceleração ($\vec{a}$) da bola, nos instantes t_1 e t_3, estão **CORRETAMENTE** representadas.

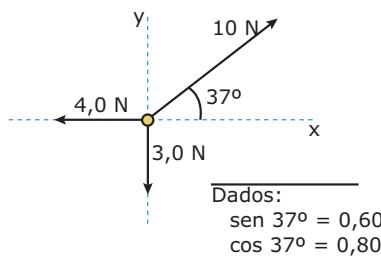
06. (UFJF-MG) Na figura a seguir, representamos uma esfera de massa m, presa ao teto de um vagão e em repouso em relação a este. O vagão desloca-se em movimento retilíneo com uma aceleração $\vec{a}$ para a direita em relação ao solo. Do ponto de vista de um observador em repouso em relação ao solo, qual das alternativas seguintes representa **CORRETAMENTE** as forças que atuam sobre a massa m?

07. (PUC Minas) Um truque comum de "mágica" é puxar a toalha que cobre uma mesa sem retirar os pratos e talheres que estão sobre ela. Isso é feito dando-se um puxão na toalha. É **INCORRETO** afirmar que esse experimento

A) terá maior probabilidade de sucesso com uma toalha lisa, sem saliências.

B) terá maior probabilidade de sucesso com uma toalha de material que tenha pequeno coeficiente de atrito com o material dos pratos e dos talheres.

C) terá maior probabilidade de sucesso aplicando-se à toalha um puxão mais rápido do que aplicando-se a ela um puxão mais lento.

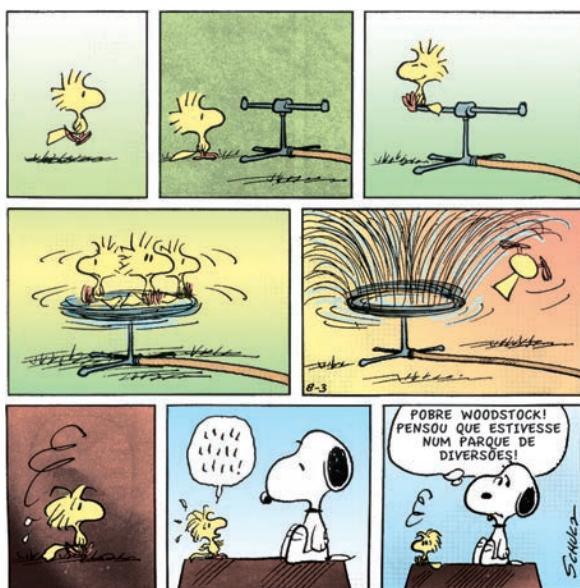
D) é um eficiente meio de demonstrar a Lei da Ação e Reação.

E) é análogo ao experimento que consiste em puxar rapidamente uma folha de papel sobre a qual repousa uma moeda, e observar que a moeda praticamente não se move.

08. (UFV-MG–2006) Uma partícula desloca-se numa trajetória retilínea de acordo com o gráfico posição S *versus* tempo t, a seguir.

Assinale a alternativa que representa **CORRETAMENTE** a relação entre o módulo da força resultante R que atua sobre a partícula com o tempo t.

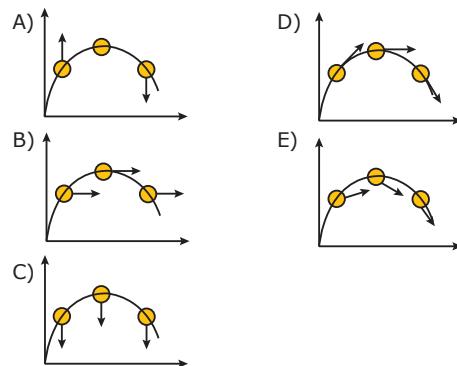
09. (Fatec-SP) Um corpo está sujeito a três forças coplanares, cujas intensidades constantes são 10 N, 4,0 N e 3,0 N. Suas orientações encontram-se definidas no esquema:

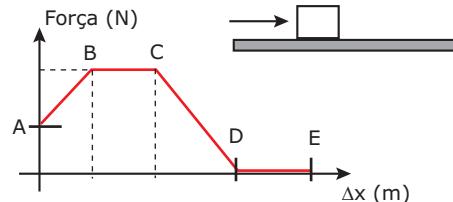
A aceleração que o corpo adquire quando submetido exclusivamente a essas três forças tem módulo 2,0 m/s^2. Pode-se concluir que a massa do corpo é, em kg,

A) 8,5. B) 6,5. C) 5,0. D) 2,5. E) 1,5.

10. (Unirio-RJ)

A análise sequencial da tirinha e, especialmente, a do quadro final, nos leva imediatamente ao(à)

A) Princípio da Conservação da Energia Mecânica.
B) propriedade geral da matéria, denominada inércia.
C) Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.
D) Segunda Lei de Newton.
E) Princípio da Independência dos Movimentos.

11. (FMTM-MG) Observe estas tirinhas de Schulz, criador de Snoopy e Woodstock.

Considere as afirmações:

I. Após desprender-se do irrigador, a única aceleração que o passarinho possui é a da gravidade.
II. O passarinho é arremessado por uma força radial, orientada do centro para fora do irrigador.
III. O movimento horizontal do passarinho, após perder o contato com o irrigador, só depende da última velocidade tangencial por ele adquirida.
IV. A força que arremessa o passarinho encontra seu par ação-reação no irrigador.

Com base na Mecânica Clássica de Newton, é **CERTO** dizer que apenas

A) I e III são verdadeiras.
B) II é verdadeira.
C) II e IV são verdadeiras.
D) I e IV são verdadeiras.

12. (UFLA-MG) Num jogo de voleibol, é dado um saque e a bola descreve uma trajetória parabólica. Desprezando-se a resistência do ar, a alternativa **CORRETA** que mostra a força resultante que age sobre a bola ao longo da trajetória é:

13. (PUCPR–2006) Considere o diagrama que relaciona a força F e o deslocamento Δx sofrido por um corpo de massa m apoiado em um plano horizontal sem atrito.

O movimento é retilíneo e no ponto A, a velocidade é nula.

Com base nessas informações, analise:

I. No trecho BC, o movimento é uniforme.
II. No trecho ABC, a velocidade aumenta.
III. No trecho DE, a velocidade é nula.
IV. No trecho DE, o movimento é uniforme.
V. No trecho AB, o movimento é uniformemente acelerado.

Está(ão) **CORRETAS**

A) somente II. C) somente III. E) II e III.
B) II e IV. D) somente IV.

14. (UFC–2007) Um pequeno automóvel colide frontalmente com um caminhão, cuja massa é cinco vezes maior que a massa do automóvel. Em relação a essa situação, marque a alternativa que contém a afirmativa **CORRETA**.

A) Ambos experimentam desaceleração de mesma intensidade.

B) Ambos experimentam força de impacto de mesma intensidade.

C) O caminhão experimenta desaceleração cinco vezes mais intensa que a do automóvel.

D) O automóvel experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do caminhão.

E) O caminhão experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do automóvel.

15. (UFPel-RS–2006) Um pescador possui um barco a vela que é utilizado para passeios turísticos. Em dias sem vento, esse pescador não conseguia realizar seus passeios. Tentando superar tal dificuldade, instalou, na popa do barco, um enorme ventilador voltado para a vela, com o objetivo de produzir vento artificialmente. Na primeira oportunidade em que utilizou seu invento, o pescador percebeu que o barco não se movia como era por ele esperado. O invento não funcionou!

A razão para o não funcionamento desse invento é que

A) a força de ação atua na vela e a de reação, no ventilador.

B) a força de ação atua no ventilador e a de reação, na água.

C) ele viola o Princípio da Conservação da Massa.

D) as forças que estão aplicadas no barco formam um sistema, cuja resultante é nula.

E) ele não produziu vento com velocidade suficiente para movimentar o barco.

16. (Unipar-PR–2007) Com relação à 3ª Lei de Newton, analise as proposições seguintes.

I. A força que a Terra exerce sobre a Lua é exatamente igual, em intensidade, à força que a Lua exerce sobre a Terra.

II. Se um ímã atrai um prego, o prego atrai o ímã com uma mesma força de mesma intensidade e direção, mas com sentido contrário.

III. A força que possibilita um cavalo puxar a carroça é a força que a carroça exerce sobre ele.

Podemos afirmar que

A) somente as proposições I e II estão corretas.

B) somente as proposições I e III estão corretas.

C) somente as proposições II e III estão corretas.

D) as proposições I, II e III estão corretas.

E) somente a proposição II está correta.

SEÇÃO ENEM

01. As Leis de Newton se relacionam com as mais diversas situações e processos. No campo esportivo, por exemplo, algumas das técnicas que dão ao atleta vantagem competitiva em relação a seu oponente estão relacionadas com a 3ª Lei de Newton. Assim, o processo que está mais diretamente ligado à Lei da Ação e Reação é

A) um tenista jogar a bola bem alto para dar um saque e tentar o *ace*.

B) um boxeador girar o tronco para desferir um golpe com mais potência.

C) um nadador puxar o máximo de água para trás a fim de ganhar propulsão.

D) um jogador de basquete pular ao fazer um arremesso de 3 pontos.

E) o jogador de futebol tomar distância para bater uma falta com mais força.

02.

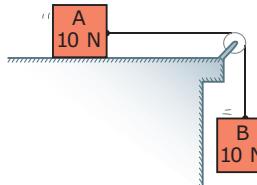
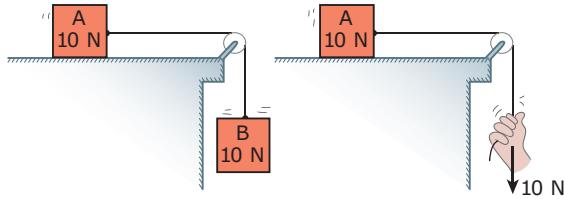



Figura 1 Figura 2

As figuras anteriores representam superfícies horizontais sem atrito, nas quais estão apoiados um bloco A, de peso 10 N. Na figura 1, um bloco B, de peso 10 N, está conectado ao bloco A por meio de um fio ideal, enquanto que ,na figura 2, uma pessoa exerce uma força de 10 N na extremidade de um fio ideal conectado ao bloco A. Em ambos os casos, o bloco A é puxado pelo fio e entra em movimento acelerado. Comparando-se o valor da tensão na corda e a aceleração dos blocos nas duas situações, conclui-se que a tensão na corda

A) e a aceleração do bloco A são maiores na situação da figura 1.

B) é maior na situação da figura 1, e a aceleração do bloco A é maior na situação da figura 2.

C) e a aceleração do bloco A são maiores na situação da figura 2.

D) é maior na situação da figura 2, e a aceleração do bloco A é maior na situação da figura 1.

E) e a aceleração do bloco A são iguais nas duas situações.

GABARITO

Fixação

01. A 02. A 03. C 04. B 05. B

Propostos

01. B	05. C	09. D	13. B
02. C	06. A	10. B	14. B
03. D	07. D	11. A	15. D
04. C	08. B	12. C	16. A

Seção Enem

01. C 02. C

FÍSICA

1ª Lei da Termodinâmica

Todo corpo, independentemente do seu estado físico, possui uma energia interna associada ao movimento de suas moléculas. Essa energia depende basicamente da quantidade de moléculas e da temperatura do corpo (sistema). Em geral, a energia interna e o estado de um sistema variam quando há uma troca de energia, na forma de calor e trabalho, entre o sistema e a sua vizinhança. Assim, para calcular a variação de energia interna, basta fazermos um balanço do calor e do trabalho trocado entre o sistema e a vizinhança. Esse balanço, denominado de 1ª Lei da Termodinâmica, nada mais é do que o Princípio da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos.

Neste módulo, vamos estudar aplicações da 1ª Lei da Termodinâmica em sistemas gasosos, embora esse princípio possa ser aplicado a qualquer estado da matéria. Iniciaremos o módulo ensinando como calcular o trabalho realizado ou sofrido por um gás. Em seguida, vamos apresentar a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, usando-a para analisar as transferências de energia em um gás ideal, sujeito a transformações termodinâmicas especiais. Na sequência, vamos ampliar o conceito de calor específico e aprender a calcular o calor recebido ou cedido por um gás em transformações isobáricas e isovolumétricas. Por fim, vamos usar a 1ª Lei da Termodinâmica para estudar a transformação adiabática, processo caracterizado pela ausência de troca de calor entre o sistema e a vizinhança.

TRABALHO EM SISTEMAS GASOSOS

Um sistema gasoso pode trocar trabalho com a sua vizinhança por diferentes formas. Por exemplo, um gás pode ser aquecido devido ao trabalho realizado por uma força de atrito, como ilustra a figura 1. Nessa montagem, à medida que o bloco desce com velocidade constante, a energia potencial gravitacional do bloco converte-se em trabalho, realizado pela força de atrito entre as pás e o gás. O módulo do trabalho realizado sobre o gás é W = mgh, em que m é a massa do bloco, g é a aceleração da gravidade, e h é o deslocamento do bloco.

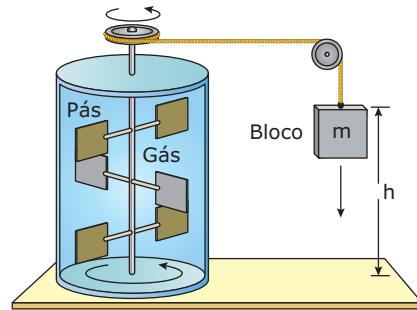



Figura 1: Um trabalho é realizado sobre o gás quando o bloco se desloca para baixo.

Outra forma importante de trabalho é devida ao movimento de fronteira de um sistema. A fronteira de um sistema é a superfície imaginária que envolve o sistema de estudo, separando-o da vizinhança. Por exemplo, na figura 2, considere que o sistema seja o gás contido no cilindro. Então, a superfície em sua volta (linha tracejada) é a fronteira, e todo o restante é a vizinhança: o cilindro, o êmbolo, o bico de Bunsen, o ar ambiente, etc.

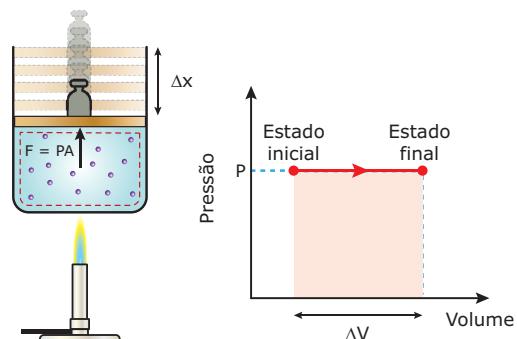



Figura 2: Trabalho realizado devido ao movimento de fronteira do gás.

Agora, vamos calcular o trabalho que o gás troca com a vizinhança na situação mostrada na figura 2. Nessa montagem, o gás se expande, realizando um trabalho sobre a vizinhança. Como o êmbolo se desloca livremente, a pressão P exercida pelo gás é constante (expansão isobárica mostrada no gráfico da figura 2). Isso significa que a força F que o gás exerce sobre o êmbolo mantém-se constante durante o deslocamento. Da Mecânica, sabemos que o trabalho realizado por essa força pode ser calculado pelo produto entre F e o deslocamento Δx do êmbolo.

A força, por sua vez, pode ser expressa pelo produto entre a pressão P e a área A do êmbolo. Assim, o trabalho realizado pelo gás é $W = PA\Delta x$. Note que o produto $A\Delta x$ representa a variação de volume ΔV sofrida pelo gás. Assim, concluímos que o trabalho devido ao movimento de fronteira de um gás, em um processo isobárico, é dado por:

$$W = P\Delta V$$

Essa equação é muito importante e podemos tirar algumas conclusões a partir dela. Primeiramente, vamos usá-la para confirmar que a unidade de trabalho, no Sistema Internacional, é o joule (J). De acordo com a equação, a unidade de trabalho é o produto entre as unidades de pressão e de volume. No SI, como esperado, esse produto é $(N/m^2).m^3 = N.m = J$. Em alguns exercícios, usaremos as unidades atm e L para a pressão e para o volume, respectivamente. Nesses casos, o trabalho será dado em atm.L, e devemos ter em mente que essa é também uma unidade de energia.

Observe que a área sob o gráfico de pressão *versus* volume mostrado na figura 2 é exatamente igual ao produto $P\Delta V$, ou seja, essa área é numericamente igual ao trabalho realizado pelo gás. Na verdade, a área sob o gráfico P *versus* V, independentemente de a pressão ser ou não constante, fornece o valor do trabalho realizado pelo gás ou sobre ele.

O trabalho possui um sinal. Como o valor da pressão é sempre positivo, o sinal do trabalho é determinado pelo sinal da variação de volume. Quando o gás sofre uma expansão, como aquela indicada na figura 2, $\Delta V > 0$. Por isso, o trabalho também é positivo. Quando o gás é comprimido, $\Delta V < 0$, de forma que o trabalho também é negativo. É claro que $W = 0$ quando $\Delta V = 0$. Nesse caso, embora haja força do gás contra o recipiente, não há deslocamento da fronteira do sistema. O quadro a seguir apresenta um resumo sobre os sinais do trabalho.

Processo	W
Expansão (W realizado pelo gás)	+
Compressão (W realizado sobre o gás)	–
Processo isovolumétrico	zero

Os sinais de W discutidos aqui não são restritos ao trabalho devido ao movimento de fronteira, devendo ser usados para qualquer forma de trabalho. Por exemplo, na figura 1, a vizinhança (as pás, o bloco e o conjunto de polias e corda) realiza um trabalho sobre o sistema (o gás). Do ponto de vista do gás, esse trabalho é negativo. Para m = 1,0 kg e h = 0,20 m, por exemplo, o trabalho vale $W = -1{,}0.10.0{,}20 = -2{,}0$ J.

Para finalizar, destacamos o fato de o sinal do trabalho ser invertido em relação ao sinal do calor. Conforme já aprendemos, o calor é positivo quando um sistema recebe calor da vizinhança. Ao contrário, o trabalho é positivo quando o sistema fornece trabalho à vizinhança. Adiante, na figura 3, apresentamos um resumo da convenção dos sinais do calor Q e do trabalho W. Certifique-se de ter entendido esses sinais. Eles serão fundamentais para resolvermos vários problemas sobre a 1ª Lei da Termodinâmica.

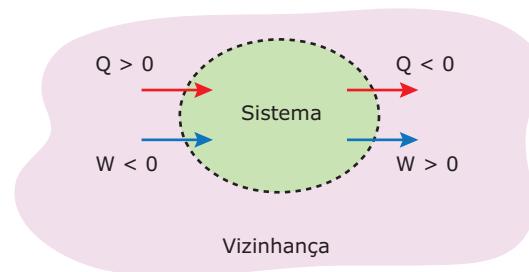



Figura 3: Convenção de sinais do calor e do trabalho.

A 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

Energia interna

Antes de estudarmos a 1ª Lei da Termodinâmica, vamos discutir um pouco mais o conceito de energia interna de um corpo (sistema). Diferentemente do trabalho e do calor, a energia interna é uma propriedade de estado. Qualquer sistema, como uma amostra de gás contida em um recipiente, não possui trabalho ou calor, mas possui energia interna. Assim como a temperatura, o volume e a pressão, a energia interna é uma grandeza de estado. Do ponto de vista microscópico, a energia interna representa o conteúdo energético das moléculas do sistema. Conforme já aprendemos no estudo dos gases, a energia interna de um gás ideal monoatômico é devida apenas à energia cinética de translação dos átomos e o seu valor é dado por:

$$U = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}PV$$

P, V e T são a pressão, o volume e a temperatura absoluta do gás. N e n são o número de moléculas e o número de mols do gás, respectivamente. O fator k é a constante de Boltzmann ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K), definida pelo quociente entre a constante universal dos gases ideais (R = 8,314 J/mol.K) e o número de Avogadro ($N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ moléculas/mol).

O principal interesse da Termodinâmica não é a quantidade de energia interna de um sistema, mas sim as variações da energia interna que ocorrem quando esse sistema sofre uma transformação termodinâmica. Quando um gás ideal monoatômico sofre uma variação de temperatura ΔT, a variação da energia interna do gás pode ser calculada por $\Delta U = 3NK\Delta T/2$. Em um processo isotérmico, ΔT é zero e, consequentemente, ΔU também é zero.

Para gases ideais poliatômicos, a energia interna é maior que $3NKT/2$, pois, além de as moléculas terem velocidade de translação, elas também vibram e giram em torno de si. O importante é que, mesmo sendo maior, a energia interna continua sendo diretamente proporcional ao número de moléculas e à temperatura absoluta do gás.

A 1ª Lei da Termodinâmica e a conservação da energia

A 1ª Lei da Termodinâmica é um princípio geral que leva em conta a variação de energia interna de um sistema quando ele, durante um processo, troca energia com a sua vizinhança. Para explicar isso, vamos analisar um exemplo numérico envolvendo o balanço de energia de um gás dentro de um cilindro com êmbolo. Inicialmente (estado 1), o êmbolo está em repouso. Nessa condição, digamos que a energia interna do gás é U_1 = 1 000 J. Agora, considere que o gás seja aquecido por uma fonte quente, recebendo, ao longo de alguns segundos, uma quantidade de calor Q = 400 J. A energia interna não irá aumentar para 1 400 J, pois o gás, ao ser aquecido, se expande, realizando um trabalho sobre a vizinhança. Digamos que esse trabalho seja W = 100 J. Desse modo, durante o processo, o gás recebe 400 J de energia na forma de calor, mas despende uma energia de 100 J na forma de trabalho. O resultado é que o gás recebe uma energia líquida de +300 J. Esse é o valor que devemos somar à energia interna inicial do gás, de maneira que a energia interna final do sistema seja U_2 = 1 300 J. Observe que a variação na energia interna do gás, $\Delta U = U_2 - U_1$, é igual à diferença $Q - W$. Assim, matematicamente, a 1ª Lei da Termodinâmica é escrita da seguinte forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Pensando bem, a equação anterior é bastante semelhante ao balanço financeiro que uma empresa, ou uma pessoa física, faz no final de cada mês:

Saldo = Receitas – Despesas

Da mesma forma que o saldo é o resultado dos aportes (receitas) e das retiradas (despesas) financeiras de uma entidade, a variação da energia interna é fruto das entradas e das saídas de energia em um sistema. Assim, não há criação de energia, há conservação da energia total. A 1ª Lei da Termodinâmica nada mais é do que o Princípio da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos.

Os sinais de Q, W e ΔU

No exemplo numérico apresentado anteriormente, os sinais de Q, W e ΔU foram todos positivos (de acordo com as nossas convenções de sinais, $Q > 0$ porque o gás recebeu calor, e $W > 0$ porque o gás se expandiu, realizando trabalho). Em outras situações, podemos ter outras combinações de sinais para Q, W e ΔU (inclusive zero). Nós já conhecemos o significado dos sinais de Q e W. A seguir, vamos explicar o significado do sinal de ΔU para um gás ideal.

Sabemos que a energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura absoluta. Então, a energia interna de uma amostra de gás ideal (massa fixa) aumenta quando a temperatura do gás aumenta. Portanto, a variação da energia interna é positiva quando a temperatura aumenta e negativa quando a temperatura diminui. Naturalmente, quando a temperatura não se altera, a variação da energia interna é nula. A tabela a seguir apresenta um resumo sobre os sinais de Q, W e ΔU. É importante compreendermos esses sinais, em vez de simplesmente memorizá-los. Observe que, nesta tabela, apresentamos uma transformação na qual Q = 0. Essa transformação é denominada adiabática e será estudada com mais detalhes posteriormente.

Sistema realiza trabalho	$W > 0$
Sistema sofre trabalho	$W < 0$
Transformação isovolumétrica	$W = 0$
Sistema recebe calor	$Q > 0$
Sistema libera calor	$Q < 0$
Transformação adiabática	$Q = 0$
Temperatura do sistema aumenta	$\Delta U > 0$
Temperatura do sistema diminui	$\Delta U < 0$
Transformação isotérmica	$\Delta U = 0$

Para mostrar a importância dos sinais dessa tabela, vamos analisar o seguinte exemplo. Considere um cilindro com gás, aquecido por meio de uma resistência elétrica enrolada na parede externa do cilindro. A figura 4 ilustra duas fronteiras (em traço pontilhado) que podemos usar para estudar o problema: uma envolve apenas o gás, e a outra inclui o cilindro e a resistência. Nesse exemplo, vamos admitir que o gás seja muito denso e que as massas do cilindro e da resistência possam ser desprezadas.

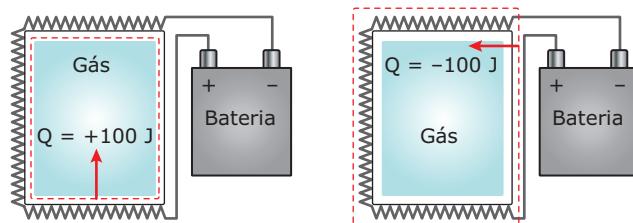
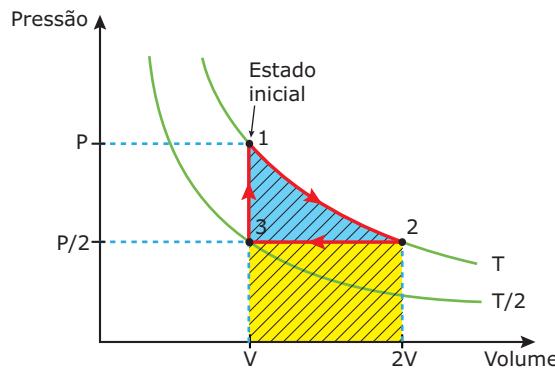



Figura 4: De acordo com a fronteira, o gás pode receber calor ou trabalho.

Primeiramente, vamos analisar o problema considerando a fronteira que envolve apenas o gás. Nesse caso, há uma diferença de temperatura na interface da fronteira, pois a temperatura da parede do cilindro é maior que a temperatura do gás. Assim, concluímos que o calor atravessa a fronteira do sistema. Vamos supor que, após o aquecimento do gás, esse calor seja Q =+100 J (o sinal é + porque o gás recebe calor). Agora, vejamos se algum trabalho atravessa a fronteira do sistema. Como não há força agindo através da fronteira, concluímos que W = 0. Substituindo esses valores na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, obtemos $\Delta U = +100 - 0 = +100$ J. Note que ΔU é positivo, significando, como esperado, que a temperatura do gás aumenta.

Agora, vamos analisar o problema do ponto de vista da fronteira que envolve a resistência elétrica. Nesse caso, não há diferença de temperatura na interface da fronteira. Logo, Q = 0. A corrente elétrica que atravessa a fronteira do sistema é gerada pela ação da força elétrica sobre as cargas livres do fio de ligação entre a bateria e a resistência elétrica. A presença dessa força implica que o sistema recebe um trabalho da vizinhança. Como as massas do cilindro e da resistência são desprezíveis, o módulo do trabalho é igual ao módulo do calor citado na análise anterior, isto é, W = −100 J (o sinal é − porque o gás recebe trabalho). Substituindo Q e W na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, achamos $\Delta U = 0 - (-100) = +100$ J. Note que esse resultado é idêntico ao obtido anteriormente.

PARA REFLETIR

Uma mola comprimida (fixa por um fio de aço) foi imersa em um ácido. Então, lentamente, a mola se dissolveu. O que aconteceu com a energia potencial elástica da mola?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um gás ideal se expande isotermicamente, dobrando de volume. A seguir, o gás é comprimido isobaricamente até o volume voltar ao valor inicial. Por último, o gás tem a pressão aumentada isovolumetricamente até a pressão voltar ao valor inicial. Determinar se o gás recebeu ou cedeu calor para a vizinhança em cada uma dessas etapas e durante todo o ciclo.

Resolução:

A figura a seguir mostra o diagrama pressão *versus* volume para o ciclo. As pressões, os volumes e as temperaturas absolutas indicadas foram calculados por meio da equação de estado de um gás ideal, tomando como referência os valores iniciais P, V e T.

Inicialmente, vamos analisar a etapa isotérmica (processo 1-2). Como a temperatura permaneceu constante, a energia interna também não variou. Assim, $\Delta U = 0$. Como o gás se expandiu, ele realizou um trabalho. Logo, W é positivo (área hachurada no gráfico). Agora, para analisar o calor, vamos escrever a 1ª Lei da Termodinâmica da seguinte forma: $Q = \Delta U + W$. Como a primeira parcela é zero e a segunda é positiva, conclui-se que o calor Q é positivo. Logo, o gás ganhou calor durante a expansão. Apesar disso, a temperatura do gás não aumentou, pois um trabalho, igual ao calor recebido, foi despendido pelo gás ao longo da expansão.

Agora, vamos analisar a etapa isobárica (processo 2-3). O gás foi comprimido, de forma que um trabalho foi realizado sobre ele. Nesse caso, W é negativo (área retangular no gráfico, indicada em amarelo). Nessa etapa, a temperatura do gás diminui, e a energia interna também. Assim, ΔU é negativo. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, $Q = \Delta U + W$, Q é negativo, pois as parcelas ΔU e W são negativas. Portanto, o gás cedeu calor para a vizinhança. Poderíamos ter chegado a essa conclusão sem usar muita matemática. Como o gás recebeu um trabalho, a energia interna e a temperatura deveriam, em princípio, aumentar. Porém, ocorreu justamente o contrário. A explicação para isso é que o gás cedeu calor. Além disso, para justificar a redução na energia interna, o módulo de Q deve ser maior que o de W.

Na etapa isovolumétrica (processo 3-1), W = 0, pois não há variação do volume do gás. A temperatura aumenta, pois, sendo esse um processo isovolumétrico, a temperatura é diretamente proporcional à pressão do gás. Logo, a energia interna aumenta, e ΔU é positivo. Assim, na equação $Q = \Delta U + W$, a primeira parcela do segundo membro é positiva, e a segunda é zero. Portanto, Q é positivo, e o gás recebeu calor. Esse resultado era esperado, pois a energia interna aumentou, e não houve realização de trabalho. Então, o aumento da energia interna é decorrente do fato de o gás ter recebido calor.

Em todo ciclo, o estado final é idêntico ao estado inicial, de forma que $\Delta U = 0$. O trabalho no ciclo é a soma algébrica dos trabalhos parciais que ocorrem em cada etapa. O trabalho é positivo na expansão isotérmica, negativo na compressão isobárica e zero no aquecimento isovolumétrico. A soma desses valores é positiva, pois o módulo do trabalho positivo é maior que o módulo do trabalho negativo. Na prática, o trabalho líquido é numericamente igual à área dentro do ciclo, indicada em azul no gráfico deste exercício. Esse valor é positivo quando o ciclo ocorre no sentido horário (como neste exercício), e negativo quando o sentido for anti-horário. De acordo com a equação $Q = \Delta U + W$, como a primeira parcela do segundo membro é zero e a segunda é positiva, o calor líquido é positivo. Logo, o gás recebeu calor.

O quadro a seguir é um resumo da solução deste exercício. A sua construção é frequentemente pedida em questões abertas de vestibulares.

Processo	W	U	Q
1-2	+	0	+
2-3	–	–	–
3-1	0	+	+
Ciclo	+	0	+

CALORES ESPECÍFICOS DE UM GÁS

No estudo da Calorimetria, usamos a equação $Q = mc\Delta T$ para calcular a transferência de calor entre os corpos. Nessa equação, m e ΔT são a massa e a variação de temperatura do corpo, respectivamente. O calor específico c é uma propriedade física que depende da substância do corpo. Podemos usar uma equação semelhante à equação anterior para calcular a transferência de calor em um gás. Nesse caso, o calor específico dependerá da natureza do gás e também do tipo de processo. Para uma transformação isobárica e outra isovolumétrica, o calor transferido pode ser calculado pelas seguintes equações:

$$Q = nc_p\Delta T \text{ e } Q = nc_v\Delta T$$

Nessas equações, n é a quantidade de gás (por exemplo, em mols) e ΔT é a variação de temperatura na escala Kelvin (ou Celsius, pois ΔT é o mesmo em ambas as escalas). Os parâmetros c_p e c_v são os calores específicos molares à pressão e a volume constantes, respectivamente, cujas unidades podem ser J/mol.K e atm.L/mol.K. Os valores de c_p e c_v dos gases ideais dependem do tipo de gás e da temperatura. Os gases monoatômicos, como os gases nobres, são exceções. Todos eles, independentemente da temperatura, possuem $c_p = 5R/2$ e $c_v = 3R/2$, sendo R a constante universal dos gases. A tabela seguinte contém os valores de c_p e de c_v para alguns gases a 25 ºC. A última coluna da tabela é o coeficiente de Poisson (γ), importante parâmetro dos gases e definido pela relação $\gamma = c_p/c_v$.

Gases ideais a 25 °C	c_p (J/mol.K)	c_v (J/mol.K)	γ
Ar	29,1	20,8	1,40
Dióxido de carbono	37,1	28,7	1,29
Nitrogênio	29,2	20,9	1,40
Oxigênio	29,5	19,9	1,48
Monoatômicos (a qualquer pressão e temperatura)	$c_p = \frac{5R}{2}$	$c_v = \frac{3R}{2}$	$\frac{5}{3}$

Para qualquer gás, c_p é maior do que c_v. Isso significa que o calor para aquecer um gás à pressão constante é maior do que o calor para aquecer o gás a volume constante, para uma mesma elevação de temperatura. No aquecimento isovolumétrico, o calor é usado apenas para elevar a temperatura e a energia interna do gás. O aquecimento isobárico consome mais energia porque, além de receber calor para aumentar sua energia interna, o gás deve receber uma quantidade extra de calor para poder realizar um trabalho de expansão.

As expressões de c_p e c_v para os gases monoatômicos podem ser deduzidas igualando-se a equação da 1ª Lei da Termodinâmica com a equação da variação da energia interna para um gás ideal monoatômico:

$$Q - W = \frac{3}{2}NK\Delta T$$

Na transformação isovolumétrica, não há trabalho (W = 0). Substituindo esse valor na equação anterior e fazendo $N = nN_A$ e $K = R/N_A$, obtemos:

$$Q - 0 = \frac{3n\cancel{N_A}R\Delta T}{2\cancel{N_A}} = n\frac{3R}{2}\Delta T$$

Comparando $Q = nc_v\Delta T$ com a expressão anterior, concluímos que $c_v = 3R/2$, como queríamos demonstrar. Para o processo isobárico, devemos usar o mesmo procedimento, lembrando que, agora, existe um trabalho dado por $W = P\Delta V = nR\Delta T$. Deixamos para você a tarefa de completar os cálculos e de demonstrar que $c_p = 5R/2$.

TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Quando um gás é comprimido ou expandido sem trocar calor com a vizinhança, dizemos que o gás sofreu uma transformação adiabática (do grego, intransitável). Essa transformação pode ser obtida de duas formas. O recipiente que contém o gás pode ser isolado termicamente da vizinhança por meio de um material como isopor ou lã de vidro, ou o gás pode ser comprimido ou expandido tão rapidamente que ele não terá tempo para ceder ou ganhar calor da vizinhança.

Na transformação adiabática, a pressão P, o volume V e a temperatura T do gás variam. Além da relação de gás ideal, PV/T = constante, a seguinte equação também se aplica:

$$PV^{\gamma} = \text{constante}$$

Nessa equação, o expoente γ é o coeficiente de Poisson, definido no tópico anterior. A dedução dessa equação é um pouco complicada e será omitida. Na verdade, usaremos essa equação apenas para entendermos alguns aspectos do processo adiabático. De acordo com essa equação, quando o volume de um gás aumenta, a pressão diminui, de forma que o produto PV^{γ} permanece constante (e vice-versa). Como γ é maior do que 1, a variação do termo V^{γ} é significativa. Assim, para o produto PV^{γ} permanecer constante, a variação de P deve ser inversa e um pouco maior do que a variação de V (diferentemente da transformação isotérmica, em que P varia de forma inversa e proporcional a V). Esse comportamento está ilustrado na figura 5, que mostra o diagrama P *versus* V para um processo adiabático ocorrendo entre dois estados A e B de um gás ideal. Neste gráfico, a área sob a curva que representa o processo é numericamente igual ao trabalho. Como Q = 0, concluímos que $\Delta U = 0 - W$, ou seja, o trabalho em um processo adiabático é dado por $W = -\Delta U$.

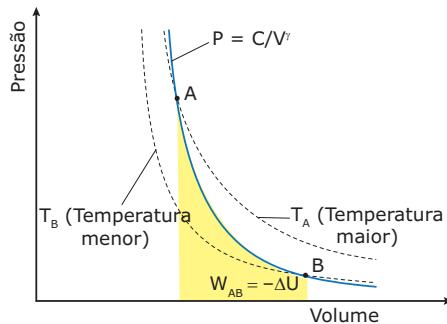



Figura 5: Transformação adiabática.

Observe nesse gráfico que a expansão adiabática AB produz um resfriamento no gás ($T_B < T_A$). Podemos entender isso a partir da 1ª Lei da Termodinâmica. Sendo $\Delta U = -W$, e como W é positivo na expansão, concluímos que ΔU é negativo. Essa redução da energia interna implica uma diminuição da temperatura do gás. Na compressão adiabática (processo BA), a temperatura aumenta, pois, nesse caso, W é negativo e ΔU é positivo.

Podemos citar muitos exemplos cotidianos de resfriamentos e aquecimentos adiabáticos. Quando apertamos a válvula de um desodorante *spray*, um pouco de vapor é liberado por meio de uma expansão súbita e adiabática, provocando o resfriamento do frasco. Ao contrário, uma bomba manual de encher pneus de bicicleta se aquece quando você comprime rápida e adiabaticamente o ar em seu interior. Os processos adiabáticos não se restringem aos gases. Por exemplo, se sacudirmos violentamente uma garrafa com água por 2 ou 3 minutos, a temperatura da água aumentará alguns décimos de grau. Esse aquecimento é adiabático, e o aumento da energia interna da água é devido ao trabalho que transferimos ao líquido.

Para finalizar, vamos discutir a expansão livre. Nesse processo, um gás se expande sem sofrer resistência. Por exemplo, imagine dois balões idênticos, um contendo gás ideal sob pressão e o outro evacuado, conforme mostra a figura 6. Em determinado instante, a válvula que interliga os balões é aberta, de forma que o gás se expande e passa a ocupar o volume total do sistema. Essa expansão ocorre sem resistência, ou seja, não há força ao longo do deslocamento. Portanto, em uma expansão livre, não há realização de trabalho. Em geral, a expansão livre é rápida, de forma que não há troca de calor. Substituindo Q = 0 e W = 0 na equação da 1ª Lei da Termodinâmica, obtemos $\Delta U = 0$. Isso significa que a temperatura final do gás é igual à temperatura inicial.

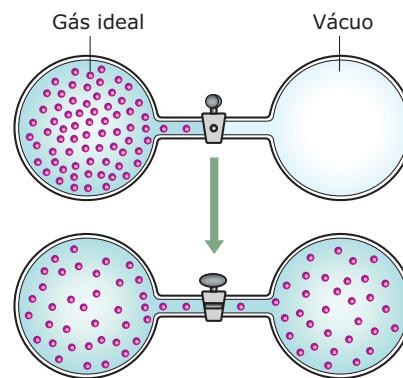
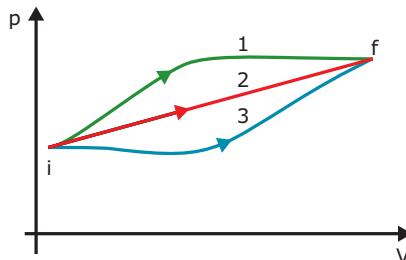
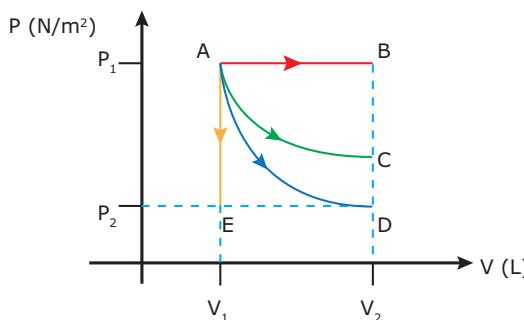



Figura 6: Exemplo de uma expansão livre.

PARA REFLETIR

Por que o ar do solo que se eleva em uma montanha ou em um ciclone pode atingir temperaturas gélidas?

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (VUNESP) A Primeira Lei da Termodinâmica diz respeito à

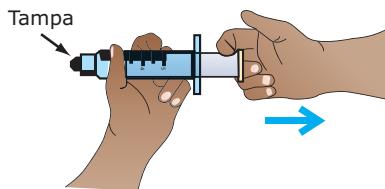
A) dilatação térmica.

B) conservação da massa.

C) conservação da quantidade de movimento.

D) conservação da energia.

E) irreversibilidade do tempo.

02. (UFES) Uma certa quantidade de gás ideal é levada de um estado inicial a um estado final por três processos distintos, representados no diagrama p x V da figura a seguir. O calor e o trabalho associados a cada processo são, respectivamente, Q_1 e W_1, Q_2 e W_2, Q_3 e W_3. Está **CORRETO** afirmar que

A) $W_1 = W_2 = W_3$ e $Q_1 = Q_2 = Q_3$.

B) $W_1 < W_2 < W_3$ e $Q_1 < Q_2 < Q_3$.

C) $W_1 > W_2 > W_3$ e $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

D) $W_1 = W_2 = W_3$ e $Q_1 < Q_2 < Q_3$.

E) $W_1 > W_2 > W_3$ e $Q_1 = Q_2 = Q_3$.

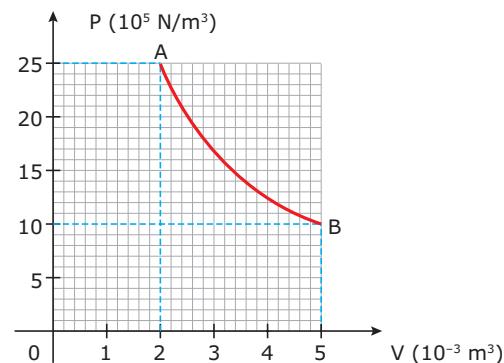
03. (UFLA-MG) Um gás é submetido às seguintes transformações mostradas no diagrama a seguir. Assinale a alternativa **CORRETA**.

A) Na expansão isobárica AB, o gás cede calor ($Q < 0$).

B) Na expansão isotérmica AC, não existe troca de calor ($Q = 0$).

C) Na expansão adiabática AD, o gás não realiza trabalho ($W = 0$).

D) No esfriamento isométrico AE, o gás recebe calor ($Q > 0$).

E) No esfriamento AE do gás, o trabalho realizado é nulo.

04. (UFMG) Uma seringa, com extremidade fechada, contém uma certa quantidade de ar em seu interior. Sampaio puxa, rapidamente, o êmbolo dessa seringa, como mostrado nesta figura:

Considere o ar como um gás ideal. Sabe-se que, para um gás ideal, a energia interna é proporcional à sua temperatura.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que, no interior da seringa,

A) a pressão do ar aumenta, e sua temperatura diminui.

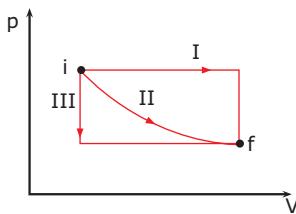
B) a pressão do ar diminui, e sua temperatura aumenta.

C) a pressão e a temperatura do ar aumentam.

D) a pressão e a temperatura do ar diminuem.

05. (UFMG) A energia interna de um gás ideal é função apenas de sua temperatura. Um gás ideal transforma-se, isotermicamente, de um estado inicial (A) para um estado final (B), como mostra a figura a seguir.

A) Qual é, aproximadamente, o trabalho realizado pelo gás?

B) Qual é a quantidade de calor absorvida da vizinhança pelo gás?

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFC–2010) Dois sistemas termodinâmicos completamente isolados são separados entre si por uma parede diatérmica (que permite a passagem de energia), impermeável (que não permite o fluxo de partículas) e fixa. No equilíbrio termodinâmico, tais sistemas são caracterizados por apresentarem

A) mesma energia e mesma temperatura.

B) diferentes energias e mesma temperatura.

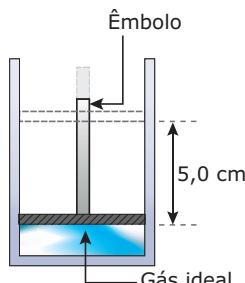
C) mesma energia e diferentes temperaturas.

D) energia igual a zero e mesma temperatura.

E) diferentes energias e diferentes temperaturas.

02. (Fafeod-MG) Um gás ideal sofre uma transformação isovolumétrica (M) e uma expansão adiabática (N), partindo da mesma temperatura inicial e chegando, em ambas as transformações, à mesma temperatura final. Sejam ΔU_M e ΔU_N as variações de energia interna nas transformações M e N, respectivamente. Assim, é necessariamente **CORRETO** afirmar que

A) $\Delta U_M = \Delta U_N$.
B) $\Delta U_M = \Delta U_N = 0$.
C) $\Delta U_M > \Delta U_N$.
D) $\Delta U_M < \Delta U_N$.
E) $\Delta U_M > 0$ e $\Delta U_N < 0$.

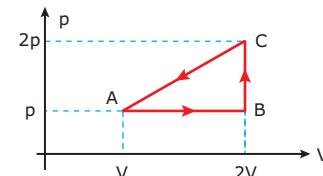
03. (UFMG) Um gás ideal, em um estado inicial i, pode ser levado a um estado final f por meio dos processos I, II e III, representados neste diagrama de pressão *versus* volume.

Sejam W_I, W_{II} e W_{III} os módulos dos trabalhos realizados pelo gás nos processos I, II e III, respectivamente. Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) $W_I < W_{II} < W_{III}$.
B) $W_I = W_{II} = W_{III}$.
C) $W_I = W_{III} > W_{II}$.
D) $W_I > W_{II} > W_{III}$.

04. (PUC-SP) O êmbolo do cilindro a seguir varia de 5,0 cm sua posição, e o gás ideal no interior do cilindro sofre uma expansão isobárica, sob pressão atmosférica. O que ocorre com a temperatura do gás durante essa transformação termodinâmica? Qual o valor do trabalho ΔW realizado sobre o sistema pela atmosfera, durante a expansão?

Dados: Pressão atmosférica: 10^5 N/m^2

Área da base do êmbolo: 10 cm^2

A) A temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0$ J
B) A temperatura diminui; $\Delta W = 5,0$ J
C) A temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0 \times 10^{-2}$ J
D) A temperatura não muda; $\Delta W = 5,0 \times 10^{-2}$ J
E) A temperatura diminui; $\Delta W = -0,5$ J

05. (FESP-PR) Considere as seguintes afirmações relativas a um gás perfeito.

I. A energia interna de uma dada massa de gás ideal é função exclusiva de sua temperatura.

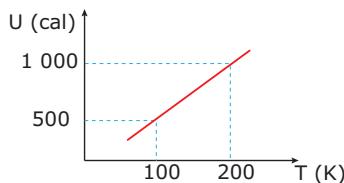
II. Numa expansão isobárica, a quantidade de calor recebida é menor que o trabalho realizado.

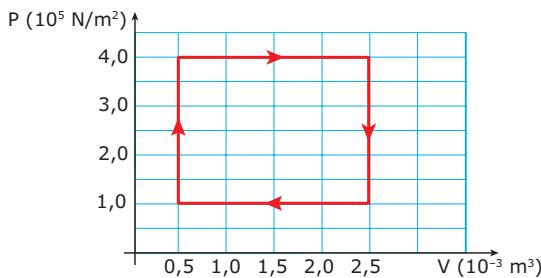
III. Numa transformação isocórica, a variação da energia do gás é igual à quantidade de calor trocada com o meio exterior.

A) I e II estão corretas.
B) II e III estão corretas.
C) I e III estão corretas.
D) Todas estão corretas.
E) Todas são incorretas.

06. (Unimontes-MG–2010) Numa compressão isotérmica, o trabalho realizado sobre o gás é 800 J. O calor cedido pelo gás no processo e a variação da energia interna, em joules, são iguais, respectivamente, a

A) 800, 800.
B) 800, −800.
C) zero, 800.
D) 800, zero.

07. (ITA-SP / Adaptado) Um recipiente de volume ajustável contém n mol de um gás ideal. Inicialmente, o gás está no estado A, ocupando o volume V, à pressão p. Em seguida, o gás é submetido à transformação indicada na figura. Calcule o calor absorvido pelo gás na transformação cíclica ABCA.

A) Q = 0
B) Q = npV/2
C) Q = −npV/2
D) Q = 11pV/2
E) Q = −pV/2

08. (UFU-MG) Um gás ideal recebe reversivelmente 1 000 cal de energia em forma de calor. Em relação ao trabalho efetuado pelo gás nessa transformação, é **FALSO** afirmar que será

A) nulo, se a variação de volume for nula.
B) 1 000 calorias, se a variação de temperatura for nula.
C) 1 000 calorias, se a variação de pressão for nula.
D) menor que 1 000 calorias, se a variação de temperatura for positiva.
E) 1 000 calorias, se a variação de energia interna for nula.

09. (Mackenzie-SP) Um mol de oxigênio é mantido a volume constante, porém sua energia interna varia com a temperatura de acordo com o gráfico.

O calor específico do oxigênio a volume constante vale

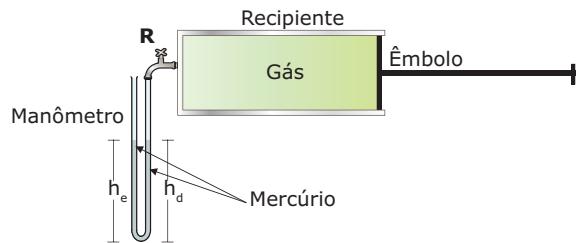
A) 5 cal/mol.K.
B) 10 cal/mol.K.
C) 15 cal/mol.K.
D) 20 cal/mol.K.

10. (Unimontes-MG–2010) Um gás ideal, com um volume inicial de 0,50 dm^3 e sob pressão inicial de 1,0 x 10^5 N/m^2, sofre a transformação cíclica representada no diagrama PV a seguir.

O trabalho realizado, a variação de energia interna e o calor absorvido no ciclo, em joules, valem, respectivamente,

A) zero, 600, 400.
B) 600, zero, 600.
C) 400, 400, 600.
D) 400, 600, zero.

11. (FMPA-MG) Sobre um gás confinado em condições ideais, podemos afirmar **CORRETAMENTE** que,

A) numa compressão isotérmica, o gás cede calor para o ambiente.
B) aquecendo o gás a volume constante, sua energia interna permanece constante.
C) numa expansão adiabática, a temperatura do gás aumenta.
D) numa expansão isobárica, a temperatura do gás diminui.
E) quando o gás sofre transformações num ciclo, o trabalho resultante que ele realiza é nulo.

12. (UFMG) Como consequência da compressão adiabática sofrida por um gás, pode-se afirmar que

A) a densidade do gás aumenta, e sua temperatura diminui.
B) a densidade do gás e sua temperatura diminuem.
C) a densidade do gás aumenta, e sua temperatura permanece constante.
D) a densidade do gás e sua temperatura aumentam.
E) a densidade do gás e sua temperatura permanecem constantes.

13. (ITA-SP) Certa quantidade de gás expande-se adiabaticamente e quase estaticamente desde uma pressão inicial de 2,0 atm e volume de 2,0 litros na temperatura de 21 ºC até atingir o dobro de seu volume. Sabendo-se que para esse gás $\gamma = c_p/c_v = 2,0$, determine a pressão final e a temperatura final do gás.

A) 0,5 atm e 10,5 ºC
B) 0,5 atm e –126 ºC
C) 2,0 atm e 10,5 ºC
D) 2,0 atm e –126 ºC

14. (CEFET-MG–2010) Sendo U a energia interna, Q o calor trocado com a vizinhança, e W o trabalho realizado em uma expansão adiabática livre (pressão nula) de um gás ideal, é **CORRETO** afirmar que

A) $\Delta U = 0$, $Q = 0$, $W = 0$.
B) $\Delta U = 0$, $Q \neq 0$, $W \neq 0$.
C) $\Delta U \neq 0$, $Q = 0$, $W = 0$.
D) $\Delta U \neq 0$, $Q = 0$, $W \neq 0$.
E) $\Delta U \neq 0$, $Q \neq 0$, $W = 0$.

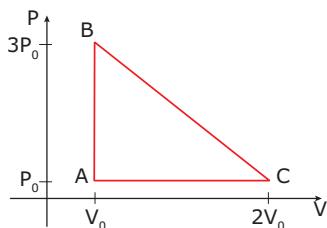
15. (UFMG–2009) Para estudar o comportamento de um gás, um professor montou o sistema representado nesta figura:

Nesse sistema, um recipiente de volume V, dotado de um êmbolo e de um registro R, contém um gás que se comporta como um gás ideal. Um manômetro, que consiste em um tubo de vidro, em forma de U, que contém mercúrio, tem uma de suas extremidades conectada ao recipiente, por intermédio do registro R, e a outra extremidade aberta.

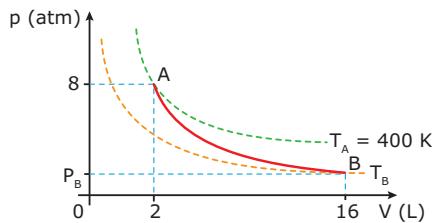
Inicialmente, o registro está aberto, e o gás está à pressão atmosférica p_0 e à temperatura ambiente T_0.

Sejam d a densidade do mercúrio, h_e e h_d a altura das colunas de mercúrio, nos ramos da esquerda e da direita do tubo, respectivamente.

1. A partir de certo instante, o professor comprime o êmbolo, lentamente, para que o gás se mantenha à temperatura ambiente, até reduzir à metade o volume ocupado, no recipiente, pelo gás. Considerando essa situação, **DETERMINE** a diferença de altura $(h_e - h_d)$ entre as duas colunas de mercúrio no tubo de vidro, em termos de p_0, d e g.

2. Em seguida, o professor fecha o registro R e puxa o êmbolo, rapidamente, até este retornar à posição inicial.

   Isso feito, ele abre o registro R e, ao mesmo tempo, observa o nível de cada uma das colunas de mercúrio no tubo de vidro.

   Considerando essa nova situação, responda:

   A altura h_e é menor, igual ou maior que a altura h_d? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

16. (PUC Rio–2010) Um motor contendo 0,5 mol de um gás ideal com p_0 = 150 kPa e V_0 = 8,3 litros funciona de acordo com o ciclo mostrado na figura a seguir. O percurso de A a B é isocórico. Entre os pontos B e C, a pressão diminui linearmente com o volume. Entre C e A, o percurso é isobárico. Considerando que as capacidades de calor molar do gás são c_v = 10,0 J/mol.K (a volume constante); c_p = 15,0 J/mol.K (à pressão constante), e a constante dos gases R = 8,3 J/mol.K, **DETERMINE**

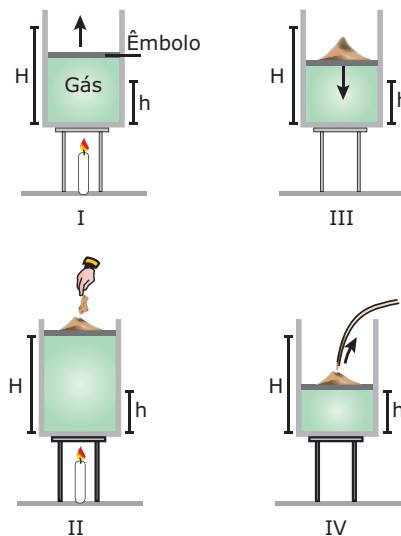
A) o trabalho realizado pelo motor durante a etapa AB do processo.

B) as temperaturas nos pontos A, B e C.

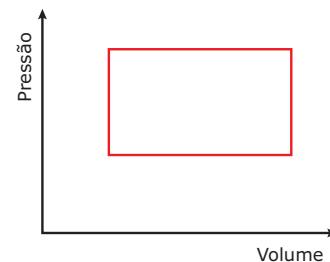
C) o calor absorvido durante as etapas AB e CA.

17. (UFG–2007) A figura a seguir mostra o comportamento de n mols de um gás ideal, numa expansão adiabática AB, entre as isotermas T_A e T_B.

Dado: $\gamma = c_p/c_v = 5/3$

Com base no gráfico, **CALCULE**

A) a pressão P_B.

B) a temperatura T_B.

18. (UFMG) Sabe-se que a energia média de translação das moléculas de um gás é dada por E_c = (3/2)KT, em que K é a constante de Boltzmann, e T, a temperatura do gás. Considere uma amostra de um gás ideal monoatômico, cuja energia interna é apenas a energia cinética de translação de suas moléculas.

A) Sabendo-se que o número de moléculas é N = 2,0 x 10^{24} moléculas e que sua temperatura é de 27 ºC, **DETERMINE** o valor da energia interna U dessa amostra. (Considere K = 1,4 x 10^{-23} J/K.)

B) Uma quantidade de calor ΔQ = 2,0 x 10^3 cal é fornecida à amostra gasosa anteriormente referida. Essa amostra se expande, realizando um trabalho ΔW = 2,4 x 10^3 J. **DETERMINE** a variação ΔU da energia interna do gás nessa transformação. (Considere 1 cal = 4,2 J.)

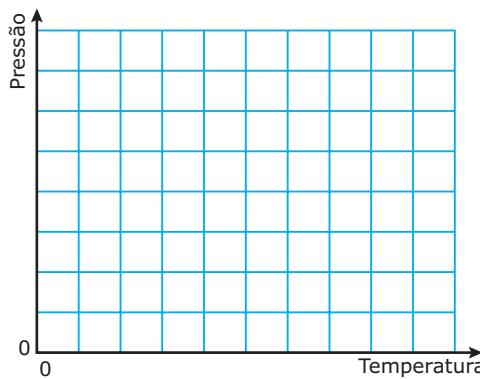
C) **DETERMINE** a temperatura final da amostra gasosa após sofrer a transformação descrita no item anterior.

19. (UFMG) Teodorico coloca um gás em um recipiente cilíndrico, fechado por um êmbolo que pode se mover livremente. Inicialmente, o gás está à temperatura ambiente, e o êmbolo, a uma altura h. Teodorico realiza, então, o procedimento descrito nestas etapas:

A) Aquece o gás, lentamente, deixando o êmbolo subir até a altura H, como representado na figura I.

B) Continuando a aquecer o gás, ele coloca areia sobre o êmbolo, aos poucos, de forma a mantê-lo fixo na altura H, como mostrado na figura II.

C) Em certo momento, Teodorico para de aquecer o gás e aguarda até que o êmbolo desça e retorne à altura h, como mostrado na figura III.

D) Em seguida, retira toda a areia, lentamente, de forma a manter o êmbolo fixo na altura h, como mostrado na figura IV.

Nas quatro etapas descritas, a pressão e o volume do gás variam como mostrado no diagrama a seguir.

Com base nas informações dadas,

1. **IDENTIFIQUE**, nesse diagrama, as etapas A e B descritas. **JUSTIFIQUE** sua resposta.

2. Considerando completadas as quatro etapas descritas, responda:

   A) O trabalho realizado pelo gás é maior, igual ou menor que zero? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

   B) O calor absorvido pelo gás é maior, igual ou menor que o calor cedido por ele? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

3. A) **ESBOCE**, no quadro a seguir, o diagrama da pressão em função da temperatura do gás para as etapas descritas.

B) **IDENTIFIQUE**, nesse mesmo diagrama, as etapas A e B. **JUSTIFIQUE** sua resposta.

SEÇÃO ENEM

01. O IBGE dividiu a região Nordeste em quatro sub-regiões: Zona da Mata, Agreste, Sertão e Meio Norte. O Sertão localiza-se mais no interior, possuindo um clima semiárido. As chuvas são irregulares e escassas, com constantes períodos de estiagem, e a vegetação típica é a caatinga. O clima seco tem a ver com a existência do Planalto da Borborema e da Chapada Diamantina, que atuam como barreiras naturais para a penetração das massas de ar. A figura a seguir ilustra o processo em que os ventos, provenientes do Oceano Atlântico, perdem umidade, chegando ao Sertão com baixo potencial pluviométrico.

A explicação da perda de umidade, à medida que o ar sobe pela encosta da montanha, é que a pressão atmosférica

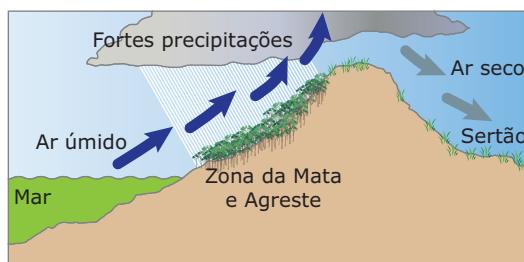
A) torna-se menor, causando um resfriamento adiabático do ar.

B) torna-se maior, causando um aquecimento adiabático do ar.

C) torna-se menor, causando uma expansão isotérmica do ar.

D) torna-se maior, causando uma compressão isotérmica do ar.

E) permanece constante, causando um resfriamento isobárico do ar.

02. Em um laboratório de Termodinâmica, um estudante realiza o seguinte procedimento. Primeiro, ele aquece o ar contido em um cilindro dotado de êmbolo móvel, conforme mostra a figura a seguir. Em seguida, o ar retorna às mesmas condições iniciais, e o estudante repete a experiência, provocando a mesma elevação de temperatura do ar, mas mantendo o seu volume constante.

O calor fornecido ao ar na primeira experiência foi

A) igual ao calor fornecido ao ar no segundo aquecimento, pois as elevações de temperaturas do gás foram iguais nas duas experiências.

B) maior que o calor fornecido ao ar no segundo aquecimento, pois o gás realizou um trabalho apenas na primeira experiência.

C) maior que o calor fornecido ao ar no segundo aquecimento, pois a pressão do gás aumentou na primeira experiência.

D) menor que o calor fornecido ao ar no segundo aquecimento, pois a pressão do gás permaneceu constante na primeira experiência.

E) menor que o calor fornecido ao ar no segundo aquecimento, pois a energia interna do gás aumentou apenas na primeira experiência.

GABARITO

Fixação

01. D

02. C

03. E

04. D

05. A) A área sob o gráfico é numericamente igual ao trabalho realizado. Cada quadradinho do gráfico tem área $0,2 \times 10^{-3} . 1 \times 10^5 = 20$ J. Há 225 quadradinhos aproximadamente (próximo à curva, juntamos dois ou mais quadradinhos para formar um). Assim, $W = 225.20 = 4,5 \times 10^3$ J. Outra maneira de calcular a área seria considerar um trapézio sob a curva. Nesse caso, temos $W = 5 \times 10^3$ J.

B) $Q = W = 4,5 \times 10^3$ J (com $\Delta U = 0$).

Propostos

01. B

02. A

03. D

04. A

05. C

06. D

07. D

08. C

09. A

10. B

11. A

12. D

13. B

14. A

15. 1. $h_e - h_d = \frac{P_0}{dg}$

2. Menor. Ao puxar o êmbolo rapidamente, o gás no interior do recipiente sofre uma transformação adiabática (não ocorrem trocas de calor com a vizinhança). De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica:

$\Delta U = \Delta Q - W$; como $\Delta Q = 0$ (adiabática)

$\Delta U = -W$

Como o gás sofre uma expansão, o trabalho é positivo ($W > 0$). Logo, $\Delta U < 0$. Como a temperatura é diretamente proporcional à energia interna ($T \propto U$), conclui-se que a temperatura do gás diminui (resfriamento). De acordo com a lei geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \text{ (estado 2: estado final do gás)}$$

$$\cancel{2}p_0\frac{\cancel{V}}{\cancel{2}T_1} = \frac{p_2\cancel{V}}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{T_2}{T_1}p_0$$

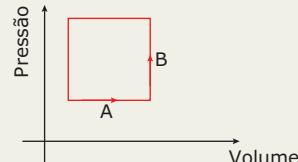
com $T_2 < T_1 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} < 1$; conclui-se que $p_2 < p_0$.

Portanto, a pressão do gás, ao final do processo, será menor que a pressão atmosférica. Logo, para que a pressão do gás no interior do recipiente se iguale à pressão atmosférica, a altura h_d deverá ser maior que a altura h_e.

16. A) 0 J

B) $T_A = 300$ K, $T_B = 900$ K e $T_C = 600$ K

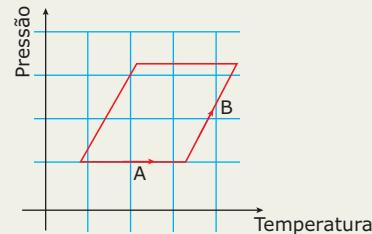
C) $Q_{AB} = 3,00 \times 10^3$ J e $Q_{CA} = -2,25 \times 10^3$ J

17. A) $P_B = 0,25$ atm

B) $T_B = 100$ K

18. A) $U = 1,26 \times 10^4$ J

B) $\Delta U = 6,0 \times 10^3$ J

C) $T = 443$ K

19. 1.

Na etapa A, a pressão é mantida constante, e o volume aumenta, como mostrado no diagrama. Na etapa B, o volume é mantido constante, e a pressão aumenta, como também é mostrado no diagrama.

2. A) Menor que zero, pois o trabalho negativo do processo C (compressão isobárica) tem módulo maior que o positivo no processo A (expansão isobárica).

B) O calor absorvido é menor que o cedido, dando um calor líquido negativo. Ele deve ser negativo porque no ciclo, a variação de energia interna é zero, e o calor líquido é igual ao trabalho líquido.

3. A)

B) Em A, ocorreu uma expansão isobárica, na qual a temperatura aumentou. Em B, ocorreu uma transformação isovolumétrica, com aumento de pressão e consequente aumento de temperatura.

Seção Enem

01. A

02. B

FÍSICA

2ª Lei da Termodinâmica

MÓDULO 06 FRENTE B

A 1ª Lei da Termodinâmica é o Princípio da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos. No estudo dessa lei, analisamos várias situações que envolvem balanços de energia em diferentes processos. Entretanto, podemos pensar em alguns processos em que a energia se conserva, mas que, mesmo assim, são impossíveis de ocorrer na prática. Por exemplo, imagine um copo de leite quente recebendo espontaneamente calor de um bloco de gelo. A 1ª Lei da Termodinâmica não proíbe esse processo. De acordo com essa lei, o calor absorvido pelo leite seria convertido em energia interna, de forma que a energia estaria se conservando. Todavia, pela nossa experiência diária, sabemos que o leite quente não pode receber calor do gelo. De fato, o leite quente é que deve transferir calor para o gelo. A 2ª Lei da Termodinâmica trata, justamente, de processos naturalmente proibidos, ainda que a conservação da energia seja verificada.

Iniciaremos este módulo ilustrando a impossibilidade de existir um motor térmico capaz de usar 100% do calor recebido na geração de trabalho mecânico. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Kelvin e Planck. Em seguida, discutiremos a impossibilidade de existir um refrigerador capaz de transferir calor de si para um ambiente mais quente sem consumir qualquer energia para funcionar. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Clausius. Por fim, vamos explicar o que é um processo reversível. A partir desse conceito, vamos apresentar o ciclo de Carnot, segundo o qual um motor e um refrigerador térmico funcionam com um desempenho máximo.

O MOTOR TÉRMICO

É perfeitamente possível existir um ciclo no qual o sistema absorve certa quantidade de energia na forma de trabalho e, em seguida, libera a mesma quantidade de energia na forma de calor, de modo que o sistema volte ao estado inicial. Entretanto, o ciclo inverso não é possível. Na prática, um sistema não pode receber calor e, em seguida, realizar um trabalho de igual valor, capaz de fazer o sistema voltar ao estado inicial. Embora haja conservação da energia nesses dois casos, apenas o primeiro ciclo é possível. O outro é proibido pela natureza. Essa é a essência da 2ª Lei da Termodinâmica.

A figura 1 exemplifica os dois ciclos descritos anteriormente. Na figura 1a, o peso desce com velocidade constante e transfere um trabalho para o gás por meio das pás girantes. Em seguida, o gás, agora aquecido, transfere uma quantidade de calor para o meio ambiente, de valor exatamente igual ao do trabalho recebido, de forma que o sistema retorne ao estado inicial, completando um ciclo. Na outra situação, mostrada na figura 1b, o gás recebe calor. Porém, depois de aquecido, o gás não é capaz de voltar ao estado inicial por meio da realização de um trabalho. Em outras palavras, o gás quente não é capaz de girar as pás e de levantar o peso. Apesar de ser viável do ponto de vista da conservação da energia, a experiência mostra que esse ciclo jamais acontece.

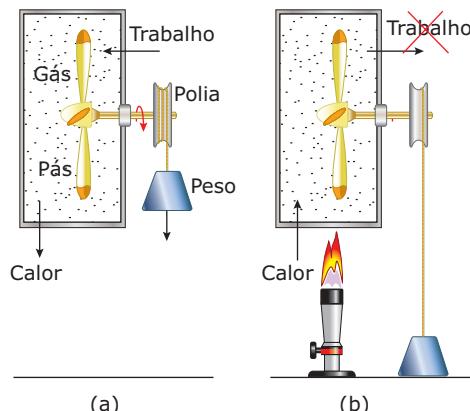



Figura 1: (a) Ciclo possível: conversão integral de trabalho em calor; (b) ciclo impossível: conversão integral de calor em trabalho.

Note que, no sistema da figura 1b, existe apenas uma fonte de calor, a chama de gás, que denominaremos de fonte quente. Com algumas adaptações, esse sistema pode produzir trabalho usando parte do calor fornecido pela fonte quente. Contudo, a parte restante do calor não pode ser utilizada para gerar trabalho. Ela deve ser rejeitada para um local onde a temperatura seja menor. Vamos denominar esse local de fonte fria. Existem muitos tipos de motores térmicos que geram trabalho ciclicamente. Todos operam entre duas fontes de calor, conforme está ilustrado no esquema da figura 2. Em cada ciclo, o motor recebe uma quantidade de calor Q_1 da fonte quente. Parte desse calor transforma-se em um trabalho W, e o restante, o calor Q_2, é rejeitado para a fonte fria.

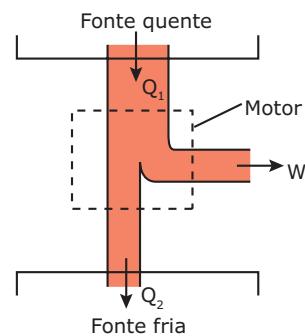



Figura 2: Conversão de calor em trabalho em um motor térmico.

Em cada ciclo, não há variação na energia interna do motor (sistema). Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho realizado pelo motor. Usando a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \quad \Rightarrow \quad W = Q_1 + Q_2$$

O motor produz o trabalho W, absorve o calor Q_1 e rejeita o calor Q_2. Assim, $W > 0$, $Q_1 > 0$ e $Q_2 < 0$. Por exemplo, podemos imaginar um pequeno motor para o qual $Q_1 = 100$ J, $W = 40$ J e $Q_2 = -60$ J. Observe que, dos 100 J de calor absorvidos pelo motor, 40 J são transformados em trabalho, enquanto 60 J são rejeitados na forma de calor para a fonte fria. Outra observação importante é que o rendimento desse motor é igual a 40%, pois o trabalho gerado pelo motor corresponde a 40% do calor que ele recebe da fonte quente. De uma forma genérica, o rendimento térmico de um motor, em valor absoluto, pode ser calculado pelo seguinte quociente:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Um motor térmico não pode apresentar rendimento térmico igual a 100%, pois, nesse caso, todo o calor Q_1 seria convertido em trabalho, o que é impossível. Lord Kelvin e Max Planck resumiram essa proibição por meio daquilo que hoje é conhecido como o enunciado de Kelvin e Planck da 2ª Lei da Termodinâmica:

> Não existe um motor térmico cíclico cujo único resultado seja a absorção de calor de uma fonte e a conversão integral desse calor em trabalho.

Existem vários tipos de motores térmicos. Da máquina de Watt aos modernos motores dos aviões a jato, todos operam com um rendimento limitado pela 2ª Lei da Termodinâmica. O motor térmico mais famoso é o motor a explosão, que equipa quase todos os automóveis do mundo. A figura 3 mostra um motor a explosão, em que o movimento alternativo do pistão é convertido em rotação através do conjunto biela-virabrequim.

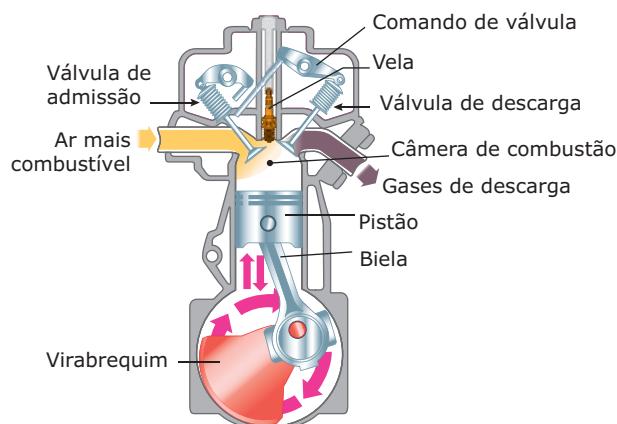



Figura 3: O motor a explosão.

Nesse motor, uma mistura de ar e combustível (em geral, gasolina ou álcool) entra no cilindro quando a válvula de admissão é mantida aberta durante a descida do pistão (1º tempo do motor: admissão). A seguir, depois que o pistão chega à posição mais baixa, a válvula de admissão se fecha e o pistão começa a subir, comprimindo a mistura dentro do cilindro (2º tempo: compressão). Quando o pistão chega à posição mais alta, uma centelha elétrica ocorre entre os terminais da vela. O combustível explode, e o pistão é fortemente empurrado para baixo (3º tempo: expansão). Quando o êmbolo chega à posição mais baixa, a válvula de escape se abre e o pistão começa a subir, expulsando os gases provenientes da combustão (4º tempo: descarga). Terminada essa etapa do ciclo, o motor pode iniciar um novo ciclo com a admissão da mistura de ar e combustível.

O REFRIGERADOR TÉRMICO

Considere que um refrigerador deva ser usado para congelar certa massa de água que se encontra à temperatura de 0 ºC. Imagine que o refrigerador opere em um ciclo de duas etapas. Na primeira etapa, o refrigerador a 20 ºC (que é a temperatura ambiente) recebe calor da água a 0 ºC. Como resultado, a água congela, e o refrigerador se aquece. Na segunda etapa do ciclo, o refrigerador cede calor para a vizinhança até que a sua temperatura volte a ser 20 ºC. Apesar de não violar a Lei da Conservação da Energia, esse ciclo é impossível, pois, na primeira etapa, a água a 0 ºC cede calor para o refrigerador a 20 ºC. Da nossa experiência diária, sabemos que um corpo não pode ceder calor para outro que esteja a uma temperatura maior.

Em cada ciclo de um refrigerador térmico real, uma quantidade de calor Q_1 é transferida de uma fonte fria para o refrigerador e uma quantidade de calor Q_2 é transferida do refrigerador para uma fonte quente. Além disso, em cada ciclo, o refrigerador real demanda uma quantidade de trabalho W para poder funcionar. A figura 4 mostra os sentidos desses fluxos de energia.

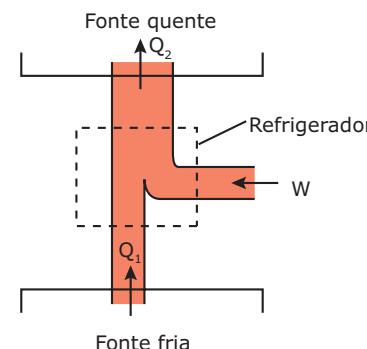



Figura 4: Transferência de calor em um refrigerador térmico.

Assim como em qualquer ciclo, a variação da energia interna do refrigerador em um ciclo completo também é nula. Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho recebido pelo refrigerador. Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \quad \Rightarrow \quad W = Q_1 + Q_2$$

O refrigerador absorve o trabalho W e o calor Q_1 e rejeita o calor Q_2. Assim, $W < 0$, $Q_1 > 0$ e $Q_2 < 0$. Por exemplo, podemos imaginar um refrigerador em que $Q_1 = 100$ J, $W = -40$ J e $Q_2 = -140$ J. O fato de Q_1 ser maior que o trabalho W não viola a conservação da energia. O importante é que a soma de Q_1 e W (em módulos) seja igual ao módulo de Q_2. Esse balanço é o que garante a conservação da energia no ciclo.

Agora, vamos definir uma equação para medir a eficiência de um refrigerador. Um refrigerador eficiente é aquele que retira muito calor da fonte fria sem consumir muito trabalho. Assim, o coeficiente de eficácia de um refrigerador térmico é dado por:

$$\beta = \frac{Q_1}{W}$$

Por exemplo, se $Q_1 = 100$ J e $W = 40$ J (em módulo), a eficiência do refrigerador será $\beta = 100/40 = 2,5$. Esse número tem a seguinte interpretação: para cada unidade de trabalho consumida, o refrigerador retira 2,5 unidades de calor da fonte fria. Teoricamente, o coeficiente β pode variar desde zero até valores bem elevados. Porém, β não pode ser infinito, pois isso implicaria um refrigerador com trabalho $W = 0$. Nesse caso, Q_1 seria igual a Q_2, com o refrigerador transferindo calor da fonte fria para a fonte quente sem consumir trabalho. Como vimos, esse ciclo é impossível. A proibição desse ciclo foi expressa por Rudolph Clausius por meio do que atualmente é conhecido como enunciado de Clausius da 2ª Lei da Termodinâmica:

> Não existe um refrigerador térmico cíclico cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo para outro à temperatura maior.

O refrigerador térmico mais popular, sem dúvida, é aquele que usa o ciclo de compressão de vapor, presente nas geladeiras e *freezers* domésticos, nos aparelhos de ar condicionado e nos balcões frigoríficos dos supermercados. A figura 5 mostra os quatro componentes desse ciclo: duas serpentinas (o evaporador e o condensador), um compressor e um tubo de seção estrangulada.

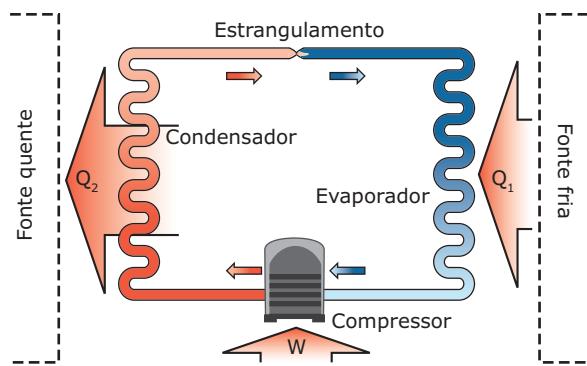



Figura 5: Esquema de um refrigerador.

Um fluido especial atravessa esses quatro componentes. Na entrada do evaporador, o fluido é praticamente líquido, e a temperatura é baixa (nas geladeiras, esse valor é cerca de −20 ºC). A temperatura da fonte fria é baixa, porém um pouco maior que a do evaporador (cerca de −10 ºC no caso do congelador de geladeiras). Assim, o fluido, ao atravessar o evaporador, recebe o calor Q_1, sofrendo vaporização isobárica. O compressor aspira e comprime o vapor proveniente do evaporador. Nessa etapa, o fluido recebe o trabalho W. O vapor quente e pressurizado sai do compressor e entra no condensador. Nessa serpentina, o fluido cede o calor Q_2 para a fonte quente, sofrendo uma transformação isobárica. Por último, o líquido quente proveniente do condensador atravessa o estrangulamento. Esse dispositivo gera uma súbita redução na pressão do fluido, de forma parecida com a queda de pressão em uma seringa com a extremidade fechada quando o êmbolo dessa é puxado rapidamente. Em consequência, parte do líquido vaporiza, causando um forte resfriamento do fluido. É por isso que o fluido entra no evaporador a uma temperatura muito baixa. Em seguida, o ciclo recomeça.

O ciclo descrito anteriormente também pode ser usado para aquecer um ambiente. Nesse caso, o interesse não é manter o resfriamento da fonte fria, mas promover o aquecimento da fonte quente, que pode ser a água de uma piscina ou o interior de uma casa durante o inverno. A máquina térmica, nesse caso, é chamada de bomba de calor, e o seu coeficiente de eficácia é definido em termos do calor Q_2 (e não do calor Q_1, como fizemos para o refrigerador), pela seguinte razão: $\beta' = Q_2/W$. O exercício resolvido 01, apresentado a seguir, aborda o uso de uma bomba de calor para aquecer uma casa no inverno. Antes de acompanhar a sua resolução, procure responder à seguinte pergunta:

PARA REFLETIR

Por que você pode aquecer uma cozinha deixando aberta a porta do forno quente, mas não pode resfriá-la deixando aberta a porta da geladeira?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. No inverno, uma casa precisa ser aquecida por uma bomba de calor, de forma a manter a temperatura interna igual a 20 °C durante todo o tempo. Estima-se uma perda de calor de 0,8 kW da casa para o exterior, para cada grau de diferença entre a temperatura da casa e a temperatura externa. Considere que a temperatura ambiente média no inverno seja de −10 °C e que, nessa condição, a bomba de calor opere com um coeficiente de eficácia $\beta' = 3$.

A) Usando a figura 5 como referência, indicar onde é o interior e o exterior da casa.

B) Calcular a potência do compressor da bomba de calor.

C) Explicar por que é mais econômico usar a bomba de calor do que um aquecedor do tipo resistência elétrica na calefação da casa.

Resolução:

A) O exterior da casa é a fonte fria, situada à direita da máquina, enquanto o interior da casa é a fonte quente, à esquerda da máquina. O evaporador recebe o calor Q_1 proveniente do exterior e o condensador transfere o calor $Q_2 = Q_1 + W$ para o interior da casa, garantindo o seu aquecimento.

B) A taxa de perda de calor da casa para o exterior é dada por:

$(0,8\ \text{kW/°C}).[20 - (-10)]\ \text{°C} \Rightarrow \phi = 24\ \text{kW}$

Para a temperatura da casa não diminuir e se manter sempre constante, uma taxa de transferência de calor ϕ', de mesmo módulo que a taxa de perda de calor, de 24 kW, deve ser constantemente fornecida ao interior da casa por meio da bomba de calor. Então, podemos calcular a potência de acionamento do compressor (P) por meio da equação do coeficiente de eficácia da bomba de calor. Substituindo os dados nessa equação, obtemos:

$$\beta' = \frac{Q_2}{W} = \frac{\phi'\Delta t}{P\Delta t} \Rightarrow \beta' = \frac{\phi'}{P}$$

$$\Rightarrow 3 = \frac{24}{P} \Rightarrow P = 8\ \text{kW}$$

C) Se um aquecedor elétrico fosse utilizado para aquecer a casa, a potência do aparelho deveria ser de 24 kW. Esse é exatamente o valor da taxa de consumo de energia elétrica do sistema. No caso da bomba de calor, a taxa de consumo de energia elétrica é 3 vezes menor que 24 kW, pois o compressor é o único componente da máquina passivo de ser acionado por energia elétrica. O compressor consome uma potência de apenas 8 kW, uma vez que esse valor é $P = \phi'/\beta'$, sendo $\beta = 3$. A soma de P e da taxa de calor fornecida pelo exterior (16 kW) é igual à taxa de calor que a casa recebe (24 kW).

O CICLO DE CARNOT

Se nenhum motor térmico aproveita 100% do calor a ele fornecido e se nenhum refrigerador funciona sem consumir trabalho, então, que máquina térmica teria o melhor desempenho? Uma máquina que opere segundo o ciclo de Carnot, essa é a resposta. O ciclo de Carnot é uma sequência teórica de processos reversíveis (ideais). Um sistema sofre um processo reversível quando o restabelecimento ao estado inicial não deixa vestígios na vizinhança. As três principais causas de irreversibilidades são: o atrito, a expansão não resistida e a transferência de calor. É natural pensar que o atrito gere irreversibilidades. Um motor com pouca lubrificação apresenta muitas perdas, e o seu rendimento tende a ser baixo. A seguir, vamos discutir por que a expansão não resistida e a transferência de calor são processos irreversíveis, isto é, por que esses processos comprometem a eficiência das maquinas térmicas.

A figura 6 mostra um gás aprisionado em um cilindro dotado de um êmbolo (estado 1, ilustrado na primeira figura). Retirando-se o peso de cima do prato, o gás se expande rapidamente e com pouca resistência, pois a parte do cilindro, do outro lado do êmbolo, está evacuada. O trabalho realizado pelo gás é muito pequeno, apenas o suficiente para elevar o prato. No final, o volume do gás é maior, a pressão é menor, e a temperatura é ligeiramente menor (estado 2, ilustrado na segunda figura). Para o gás voltar ao estado 1, o peso deverá ser colocado novamente sobre o prato, de forma que o êmbolo possa comprimir o gás. Essa compressão 2-1 demanda um trabalho realizado pela vizinhança muito grande, pois o deslocamento do prato ocorre com o peso em cima dele. Em outras palavras, a vizinhança despende mais trabalho para fazer o gás retornar ao estado inicial do que aquele que ela recebe na primeira etapa do ciclo (vestígios na vizinhança). O gás voltou ao estado inicial, mas a vizinhança não. Por isso, uma expansão pouco resistida é um processo irreversível.

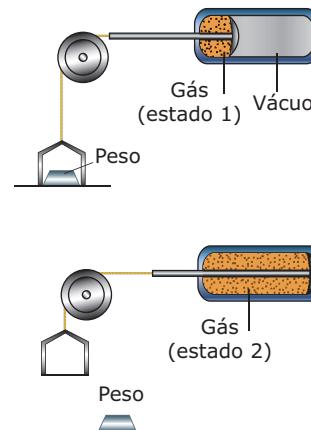



Figura 6: A expansão livre é um processo irreversível.

A expansão de um gás é um processo reversível apenas quando as pressões em cada lado do êmbolo diferem de um infinitésimo. Nos motores reais, isso não ocorre. Por exemplo, em um motor automotivo, logo após a explosão do combustível, a diferença de pressão ΔP entre a câmara de combustão e o exterior do cilindro é cerca de 20 atm. Esse valor é enorme e, por isso, ele gera muitas irreversibilidades e uma redução no rendimento térmico do motor. Por outro lado, é justamente o alto valor de ΔP que proporciona mais rotação ao motor e mais velocidade ao carro.

Para discutir a irreversibilidade gerada pela transferência de calor, vamos considerar um exemplo simples. Imagine um recipiente hermético contendo um gás a 80 °C (estado 1). Em seguida, o gás transfere calor para o ambiente até que a sua temperatura atinja 50 °C (estado 2). Para fazer o gás voltar ao estado 1, vamos usar uma bomba de calor, que deverá transferir calor do ambiente para o gás. Ora, essa máquina, como sabemos, consumirá certa quantidade de trabalho para executar tal tarefa. Esse trabalho representa um vestígio na vizinhança. Portanto, um processo de transferência de calor é irreversível.

A transferência de calor é reversível apenas quando o processo ocorre devido a uma diferença infinitesimal de temperatura. No exemplo anterior, se a temperatura do gás fosse um infinitésimo de grau acima da temperatura ambiente, a bomba de calor praticamente não consumiria trabalho para restabelecer o seu estado inicial. Você pode pensar, então, que seria interessante usar uma serpentina de calefação com o fluido apenas ligeiramente mais quente do que o ambiente a ser aquecido. Apesar de o processo ser quase reversível, esse equipamento não seria viável na prática. A pequena diferença entre as temperaturas não seria suficiente para garantir um fluxo de calor adequado para o aquecimento. Para resolver o problema, a serpentina deveria ter alguns quilômetros de comprimento. Além do preço proibitivo, essa serpentina não caberia no recinto a ser aquecido.

Agora, estamos prontos para entender o ciclo de Carnot. Uma máquina de Carnot (motor ou refrigerador) possui desempenho máximo porque ela não contém os três fatores de irreversibilidades que discutimos nos últimos parágrafos. Em uma máquina de Carnot, também chamada de máquina reversível, não há atrito entre as partes móveis, e os êmbolos se deslocam com extrema lentidão, movidos por diferenças infinitesimais de pressão. Além disso, as trocas de calor entre a máquina e as fontes térmicas ocorrem por meio de diferenças infinitesimais de temperatura.

No caso de um motor de Carnot, a fonte quente, cuja temperatura é T_1, cede o calor Q_1 para o fluido do motor, cuja temperatura é infinitesimalmente menor do que T_1. Por isso, o fluido recebe calor por meio de um processo isotérmico à temperatura T_1. De forma semelhante, o fluido do motor transfere o calor Q_2 para a fonte fria, cuja temperatura é T_2, por meio de um processo isotérmico, sendo a temperatura do fluido infinitesimalmente maior do que T_2. O fluido muda a sua temperatura de T_1 para T_2 e vice-versa por meio de processos adiabáticos, alternados com os dois processos isotérmicos citados.

A figura 7 mostra um diagrama de pressão *versus* volume para um motor de Carnot, que utiliza um gás ideal como fluido de trabalho. Observe que a absorção do calor Q_1 ocorre durante a expansão isotérmica a-b, enquanto a rejeição do calor Q_2 ocorre durante a compressão isotérmica c-d. Observe também que o fluido diminui a temperatura de T_1 para T_2 por meio de uma expansão adiabática b-c e aumenta a temperatura novamente para T_1 por meio de uma compressão adiabática d-a. Observe ainda que o ciclo ocorre no sentido horário, característico de um motor. A área dentro do ciclo é numericamente igual ao trabalho realizado pelo motor. Se o mesmo ciclo fosse percorrido no sentido anti-horário, esse trabalho seria a energia consumida pela máquina, que, nesse caso, seria um refrigerador de Carnot.

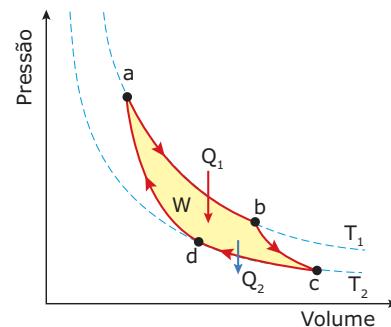



Figura 7: Ciclo de Carnot para um motor com gás ideal.

Existem dois teoremas importantes relacionados ao ciclo de Carnot. O primeiro afirma que o rendimento de um motor de Carnot (ou o coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot) independe da substância de trabalho. O outro teorema afirma que esse rendimento depende apenas das temperaturas T_1 e T_2 das fontes de calor. Não vamos demonstrar esses teoremas, mas vamos usá-los para deduzir a equação do rendimento de um motor de Carnot. Como esse rendimento é função apenas de T_1 e de T_2, e lembrando que o rendimento é dado por $\eta = W/Q_1$ e que $W = Q_1 - Q_2$, podemos escrever a seguinte expressão:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - f(T_1, T_2)$$

A parcela $f(T_1, T_2)$ é função das temperaturas das fontes de calor. Existem várias relações funcionais que podem ser escolhidas para representar $f(T_1, T_2)$. Lord Kelvin sugeriu a seguinte relação:

$$f(T_1, T_2) = Q_2/Q_1 = T_2/T_1$$

Substituindo essa expressão na equação do rendimento do motor, obtemos a seguinte relação:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Nessa equação, as temperaturas T_1 e T_2 devem ser expressas na escala Kelvin. Essa equação mostra que um motor de Carnot tem maior desempenho à medida que a temperatura da fonte quente aumenta e a temperatura da fonte fria diminui. Veja que, quando T_2 tende para zero kelvin, η tende para 1. Como o zero absoluto é inatingível, mesmo um motor de Carnot não pode apresentar um rendimento de 100%. De fato, Lord Kelvin desenvolveu a escala absoluta de temperatura a partir dessa ideia.

O motor (ou refrigerador) de Carnot é uma máquina apenas teórica e que não pode ser construída na prática. Apesar disso, o seu rendimento é uma referência para os projetistas. Por exemplo, imagine que um motor deva ser projetado usando como fonte quente a água em ebulição a 100 °C (T_1 = 373 K) e, como fonte fria, o gelo fundente a 0 °C (T_2 = 273 K). Nessas condições, o rendimento de um motor de Carnot seria de:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = 0{,}27$$

É claro que o motor real terá um rendimento menor que este. Se o motor for bem projetado, o seu rendimento poderá ser a metade do rendimento de Carnot, ou um pouco mais. Devemos tomar cuidado para não achar que o rendimento de um motor de Carnot é sempre elevado (27%, como nesse exemplo, não é um rendimento alto). O motor de Carnot apenas proporciona o maior rendimento possível entre duas fontes de temperaturas T_1 e T_2.

A relação $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ também pode ser aplicada na dedução da equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador (ou de uma bomba de calor). Abordaremos essa dedução no exercício resolvido 02. Antes de acompanhar a resolução desse problema, procure responder à seguinte questão:

PARA REFLETIR

Que fonte quente produziria maior rendimento a um motor térmico: vapor de água ou água líquida, ambos a 100 °C e 1 atm?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um comerciante de geladeiras e *freezers* garante que os seus produtos apresentam um coeficiente de eficácia igual a 3, isto é, para cada unidade de energia fornecida ao compressor, o equipamento retira o triplo de calor do seu compartimento interno. Explicar por que essa afirmativa não procede.

Resolução:

O desempenho de um refrigerador de Carnot pode servir de referência para avaliarmos o desempenho de uma máquina real operando entre as mesmas temperaturas. Assim, para avaliar a afirmativa do comerciante, vamos deduzir a equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot. A equação genérica do coeficiente de eficácia, válida para qualquer ciclo, é a seguinte:

$$\beta = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{1}{(Q_2/Q_1) - 1}$$

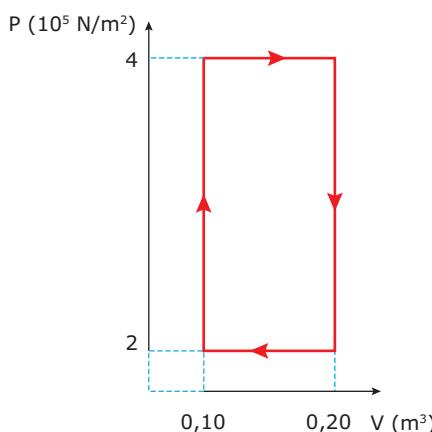
Para uma máquina de Carnot, $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$. Substituindo essa razão na equação anterior, obtemos o coeficiente de eficácia para um refrigerador de Carnot em função de T_1 e T_2:

$$\beta = \frac{1}{(T_2/T_1) - 1}$$

Segundo essa equação, β diminui à medida que a temperatura da fonte quente, T_2, aumenta. Como T_2 é a temperatura do recinto onde o refrigerador se encontra, concluímos que um refrigerador de Carnot (e também um refrigerador real) apresenta um desempenho menor no verão e maior no inverno.

Ainda segundo a equação anterior, β diminui à medida que a temperatura da fonte fria, T_1, diminui. Como T_1 é a temperatura do interior do refrigerador, e como o interior de um *freezer* é mais frio do que o interior de uma geladeira, concluímos que o desempenho de um *freezer* de Carnot é menor do que o de uma geladeira de Carnot no mesmo recinto (T_2 fixo). Uma geladeira e um *freezer* real também apresentam o mesmo comportamento.

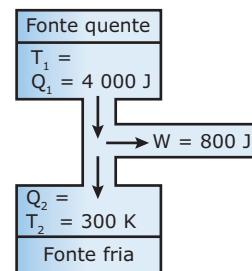
Sobre a afirmativa do comerciante, concluímos que ela não é verdadeira, pois o desempenho de um refrigerador depende tanto da temperatura ambiente quanto da sua temperatura interna.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFSM-RS) Considere as afirmações:

I. É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, retire energia na forma de calor de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.

II. Refrigeradores são dispositivos que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.

III. A energia, na forma de calor, não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura para outro de maior temperatura.

Está(ão) **CORRETA**(**S**)

A) apenas I.

B) apenas II.

C) apenas I e III.

D) apenas II e III.

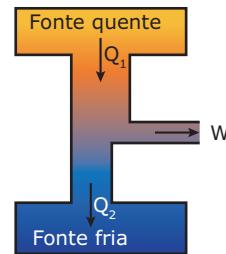
E) I, II e III.

02. (Unimontes-MG–2006) Define-se o rendimento r de uma máquina térmica como sendo $r = (W/Q_1)$, em que, em cada ciclo, Q_1 é o calor absorvido, e W é o trabalho realizado. Considere uma máquina que segue o ciclo descrito pelo diagrama a seguir. Sabendo que ela absorve 4×10^4 J de calor por ciclo, seu rendimento r é de

A) 15%.

B) 50%.

C) 25%.

D) 75%.

03. (PUC-Campinas-SP) O esquema a seguir representa trocas de calor e realização de trabalho em uma máquina térmica. Os valores de T_1 e Q_2 não foram indicados, mas deverão ser calculados durante a solução deste exercício.

Considerando os dados indicados no esquema, se essa máquina operasse segundo um ciclo de Carnot, a temperatura T_1, da fonte quente, seria, em Kelvins, igual a

A) 375.

B) 400.

C) 525.

D) 1 200.

E) 1 500.

04. (UFV-MG–2009) A figura a seguir representa um ciclo de operação de uma máquina térmica reversível com rendimento R. Suponha que o funcionamento da máquina seja invertido, de modo que ela seja transformada em um refrigerador. Sabendo que a eficiência de um refrigerador é Q_2/W, em função de R, essa eficiência será

A) (R – 1)/R.

B) 1/R.

C) (1 – R)/R.

D) (1 + R)/R.

05. (UFV-MG–2009) Uma máquina térmica, operando entre duas fontes quente e fria, às temperaturas de 327 ºC e 27 ºC, respectivamente, realiza um trabalho de 200 J, ao absorver 1 000 J da fonte quente. Caso essa máquina passasse a operar segundo o ciclo de Carnot, entre as mesmas fontes, seu rendimento seria

A) 100%.

B) 50%.

C) 20%.

D) 0%.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

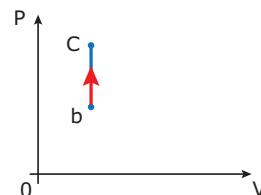
01. (UEPB–2010)

A Revolução Industrial consistiu em um conjunto de mudanças tecnológicas com profundo impacto no processo produtivo em nível econômico e social. Iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, expandiu-se pelo mundo a partir do século XIX. James Hargreaves, 1764, na Grã-Bretanha, inventa a fiadora "spinning Jenny"*, uma máquina de fiar rotativa que permitia a um único artesão fiar oito fios de uma só vez; James Watt, 1768, inventa a máquina a vapor; Gottlieb Daimler, 1885, inventa um motor a explosão, etc.*

Acerca do assunto tratado no texto em relação às máquinas térmicas, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, podemos afirmar:

I. Nenhuma máquina térmica operando em ciclos pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.

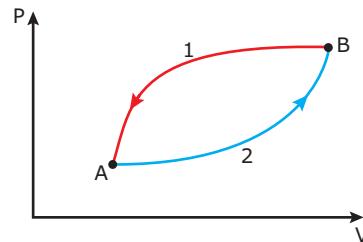
II. A Segunda Lei da Termodinâmica se aplica aos refrigeradores, porque estes transferem calor da fonte fria para a fonte quente.

III. O rendimento de uma máquina térmica que opera em ciclos pode ser de 100%.

Após a análise feita, verifica-se que é(são) **CORRETA**(**S**) apena(s) a(s) proposição(ões)

A) II e III.
B) II.
C) III.
D) I.
E) I e II.

02. (PUC Minas–2010 / Adaptado) Considere dois veículos de mesma massa, com motores de mesma potência: um equipado com motor elétrico com uma eficiência de 90%, e o outro equipado com motor a combustão, com uma eficiência de 25%. Admitindo-se ambos os veículos com uma massa de 500 kg, partindo do repouso, em uma estrada plana e retilínea, atingindo uma velocidade de 36 km/h, é **CORRETO** afirmar que a quantidade de calor rejeitada pelos motores foi, respectivamente, de

A) $4,0 \times 10^3$ J e $3,5 \times 10^3$ J.
B) $1,5 \times 10^3$ J e $2,5 \times 10^3$ J.
C) $2,8 \times 10^4$ J e $4,5 \times 10^5$ J.
D) $2,8 \times 10^3$ J e $7,5 \times 10^4$ J.

03. (UFRN–2010) A transformação termodinâmica b → c, ilustrada no diagrama PV da figura seguinte, constitui um dos processos do ciclo Otto, utilizado em motores de combustão interna de automóveis a gasolina. No diagrama, P representa a pressão na câmara de combustão e V, o volume da câmara.

Esse processo ocorre quando, no instante da queima da mistura ar-gasolina contida na câmara de combustão, fornece-se calor ao sistema, produzindo-se

A) aumento da pressão interna, com variação do volume da câmara.
B) diminuição da pressão interna, sem variação do volume da câmara.
C) diminuição da pressão interna, com variação do volume da câmara.
D) aumento da pressão interna, sem variação do volume da câmara.

04. (PUC Minas) A respeito do que faz um refrigerador, pode-se dizer que

A) produz frio.
B) anula o calor.
C) converte calor em frio.
D) remove calor de uma região e o transfere a outra.

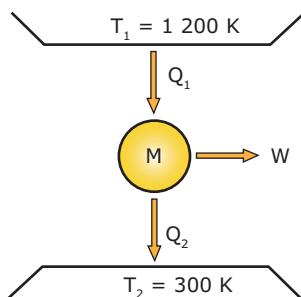
05. (FGV-SP) O diagrama relaciona valores de pressão e volume que ocorrem em determinada máquina térmica.

De sua análise, pode-se inferir que

A) se a linha 2 fosse uma reta ligando os pontos A e B, ela representaria uma expansão isotérmica do gás.
B) a área compreendida entre as duas curvas representa o trabalho realizado sobre o gás no decorrer de um ciclo completo.

C) a área formada imediatamente abaixo da linha indicada por 1 e o eixo V equivale, numericamente, ao trabalho útil realizado pelo gás em um ciclo.

D) o ciclo representa os sucessivos valores de pressão e volume que ocorrem em uma máquina, podendo ser, por exemplo, uma locomotiva a vapor.

E) no ponto indicado por A, o mecanismo apresenta grande capacidade de realização de trabalho devido aos valores de pressão e volume que se associam a esse ponto.

06. (UFC) A eficiência de uma máquina de Carnot que opera entre a fonte de temperatura alta (T_1) e a fonte de temperatura baixa (T_2) é dada pela expressão

$$\eta = 1 - (T_2/T_1),$$

em que T_1 e T_2 são medidas na escala absoluta ou Kelvin. Suponha que você dispõe de uma máquina dessas com uma eficiência η = 30%. Se você dobrar o valor da temperatura da fonte quente, a eficiência da máquina passará a ser igual a

A) 40%.

B) 45%.

C) 50%.

D) 60%.

E) 65%.

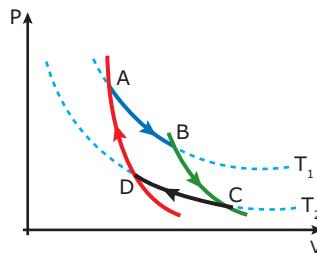
07. (UFLA-MG–2009) O esquema simplificado a seguir representa um motor térmico. Considere o calor absorvido do reservatório quente $Q_1 = 4 \times 10^4$ joules a cada segundo, e o rendimento desse motor igual a 40% do rendimento de um motor de Carnot operando entre os mesmos reservatórios T_1 e T_2.

Pode-se afirmar que a potência do referido motor é

A) 30 kW.

B) 18 kW.

C) 12 kW.

D) 16 kW.

08. (UFLA-MG–2006) Um engenheiro construiu uma máquina térmica que, operando em ciclos, retira 20 000 J/s de um reservatório quente a T_1 = 1 600 K e rejeita 4 000 J/s para um reservatório frio a T_2 = 400 K. A equipe técnica de uma empresa encarregada de analisar o projeto dessa máquina térmica apresentou as seguintes conclusões:

I. O rendimento teórico da máquina é 80%.

II. A potência teórica da referida máquina é 16 000 W.

III. Como o rendimento teórico de uma máquina térmica de Carnot operando nas condições anteriormente especificadas é 75%, a máquina em questão é teoricamente inviável.

Assinale a alternativa **CORRETA**.

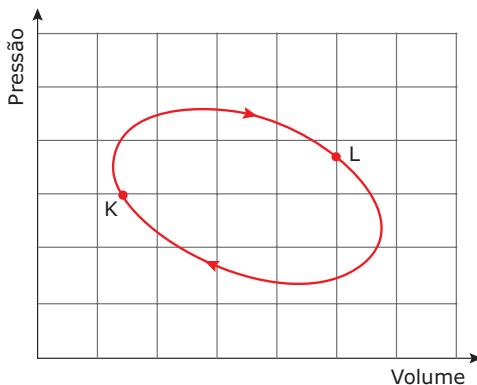
A) Somente as conclusões I e II são corretas.

B) As conclusões I, II e III estão corretas.

C) Somente as conclusões II e III são corretas.

D) Somente as conclusões I e III são corretas.

E) Somente a conclusão II é correta.

09. (AFA-SP) No processo A → B, indicado no ciclo de Carnot da figura, o calor é

A) admitido.

B) rejeitado.

C) admitido e rejeitado.

D) nem admitido e nem rejeitado.

10. (UFBA) Sobre as leis da Termodinâmica, pode-se afirmar:

01. A Primeira Lei expressa a conservação da energia.

02. A Primeira Lei garante que não há fluxo de calor entre dois corpos à mesma temperatura.

04. A Segunda Lei implica que o calor não pode fluir espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente.

08. A Segunda Lei implica que é impossível a conversão total de qualquer quantidade de calor em energia mecânica, em qualquer máquina cíclica.

16. A Segunda Lei implica que dois gases, uma vez misturados, têm grande probabilidade de voltar a separar-se espontaneamente.

Soma (   )

11. (UFMG–2010) Uma máquina térmica é constituída de um cilindro, cheio de gás, que tem um êmbolo móvel. Durante o funcionamento dessa máquina, o gás é submetido a um processo cíclico, que o leva de um estado K a outro estado L e, depois, de volta ao estado K, e assim sucessivamente, como representado no diagrama pressão *versus* volume, mostrado na figura a seguir.

Considerando essas informações, responda e **JUSTIFIQUE** sua resposta:

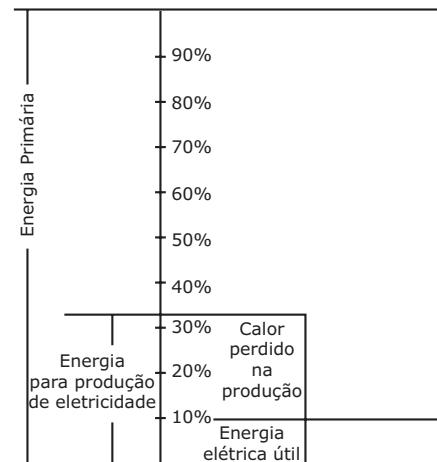
A) Em qual dos dois estados, K ou L, a temperatura do gás é maior?

B) Em um ciclo completo, em que o gás sai do estado K e volta ao mesmo estado, essa máquina realiza trabalho líquido?

C) Tendo-se em vista que se trata de um sistema ideal, é possível converter em trabalho todo o calor fornecido a essa máquina?

12. (FAAP-SP) Queremos congelar 200 kg de água a 0 °C, utilizando um refrigerador cuja eficiência seja igual a 1/7 da eficiência do refrigerador ideal de Carnot. O calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g. Admitindo-se que a temperatura da sala em que se encontra o refrigerador permaneça invariável em 39 °C, **DETERMINE** o trabalho necessário para o referido congelamento. Considere o calor latente de fusão do gelo L = 80 cal/g.

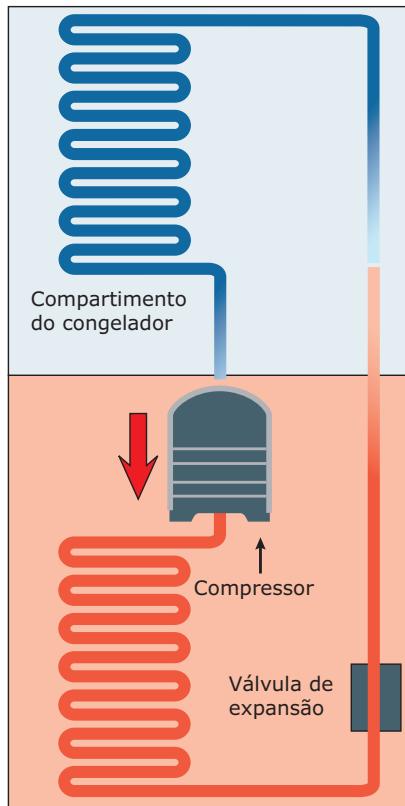
13. (Unicamp-SP) Com a instalação do gasoduto Brasil-Bolívia, a quota de participação do gás natural na geração de energia elétrica no Brasil será significativamente ampliada. Ao se queimar 1,0 kg de gás natural, obtém-se $5{,}0 \times 10^7$ J de calor, parte do qual pode ser convertido em trabalho em uma usina termoelétrica. Considere uma usina queimando 7 200 quilogramas de gás natural por hora, a uma temperatura de 1 227 °C. O calor não aproveitado na produção de trabalho é cedido para um rio de vazão 5 000 L/s, cujas águas estão inicialmente a 27 °C. A maior eficiência teórica da conversão de calor em trabalho é dada por:

$$\eta = 1 - (T_{mín.}/T_{máx.})$$

Sendo $T_{mín.}$ e $T_{máx.}$ as temperaturas absolutas das fontes quente e fria, respectivamente, ambas expressas em Kelvin. Considere o calor específico da água:

$$c = 4\ 000\ J/(kg°C)$$

A) **DETERMINE** a potência gerada por uma usina cuja eficiência é metade da máxima teórica.

B) **DETERMINE** o aumento de temperatura da água do rio ao passar pela usina.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2002) O diagrama mostra a utilização das diferentes fontes de energia no cenário mundial. Embora aproximadamente um terço de toda energia primária seja orientada à produção de eletricidade, apenas 10% do total são obtidos em forma de energia elétrica útil.

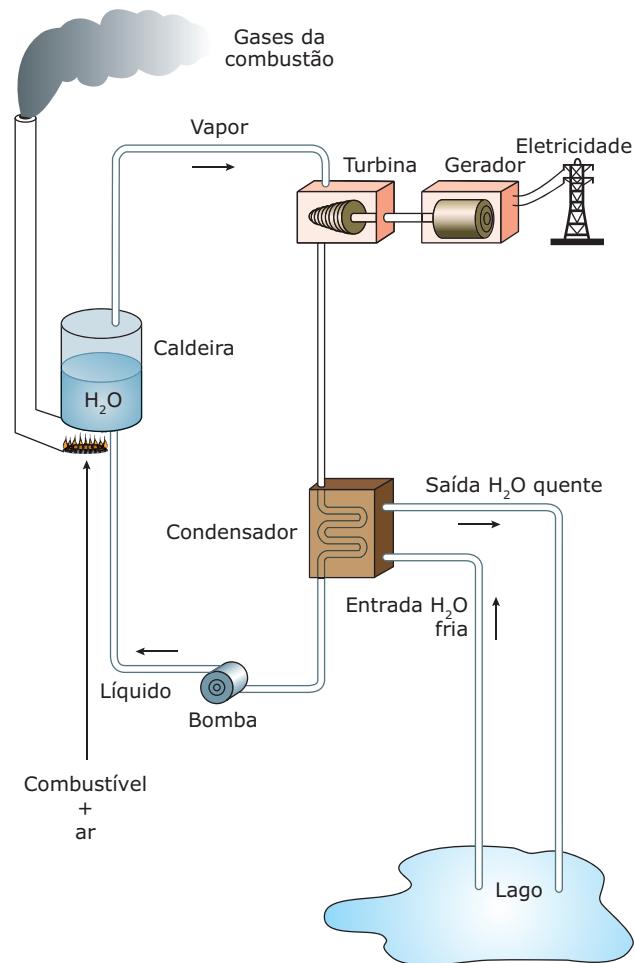
A pouca eficiência do processo de produção de eletricidade deve-se, sobretudo, ao fato de as usinas

A) nucleares utilizarem processos de aquecimento, nos quais as temperaturas atingem milhões de graus Celsius, favorecendo perdas por fissão nuclear.

B) termelétricas utilizarem processos de aquecimento a baixas temperaturas, apenas da ordem de centenas de graus Celsius, o que impede a queima total dos combustíveis fósseis.

C) hidrelétricas terem o aproveitamento energético baixo, uma vez que parte da água em queda não atinge as pás das turbinas que acionam os geradores elétricos.

D) nucleares e termelétricas utilizarem processos de transformação de calor em trabalho útil, no qual as perdas de calor são sempre bastante elevadas.

E) termelétricas e hidrelétricas serem capazes de utilizar diretamente o calor obtido do combustível para aquecer a água, sem perda para o meio.

02. (Enem–2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.

Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,

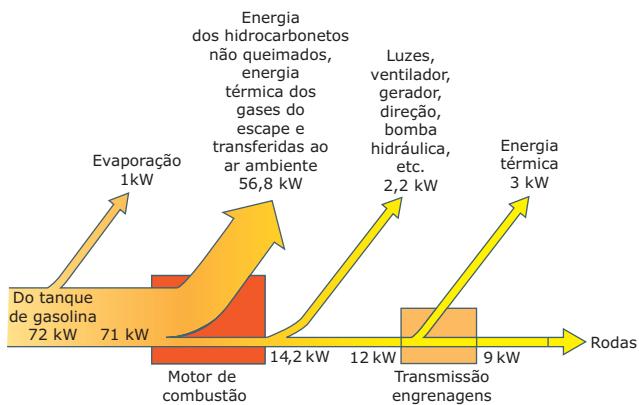
A) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.

B) o calor flui de forma não espontânea da parte mais fria, no interior, para a mais quente, no exterior da geladeira.

C) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.

D) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.

E) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

03. (Enem–2009) O esquema mostra um diagrama de bloco de uma estação geradora de eletricidade abastecida por combustível fóssil.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. (Adaptação).

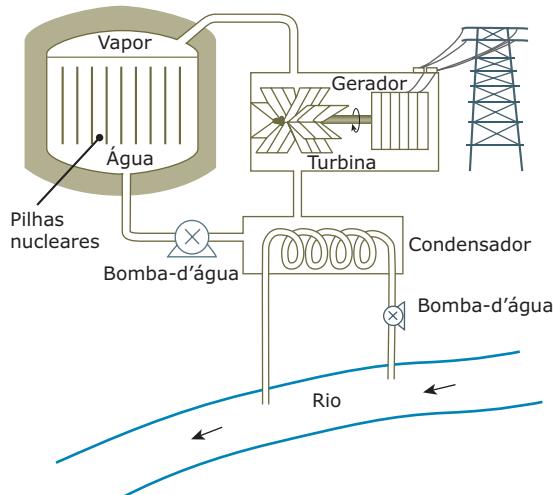
Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que forneceria eletricidade para abastecer uma cidade, qual das seguintes ações poderia resultar em alguma economia de energia, sem afetar a capacidade de geração da usina?

A) Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina para ser queimado.

B) Reduzir o volume de água do lago que circula no condensador de vapor.

C) Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a água líquida à caldeira.

D) Melhorar a capacidade dos dutos com vapor conduzirem calor para o ambiente.

E) Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para mover um outro gerador.

04. (Enem–2000) O esquema a seguir mostra, em termos de potência (energia/tempo), aproximadamente, o fluxo de energia, a partir de uma certa quantidade de combustível vinda do tanque de gasolina, em um carro viajando com velocidade constante.

O esquema mostra que, na queima da gasolina, no motor de combustão, uma parte considerável de sua energia é dissipada. Essa perda é da ordem de

A) 80%. B) 70%. C) 50%. D) 30%. E) 20%.

05. (Enem–2000) A partir do esquema são feitas as seguintes afirmações:

I. a energia liberada na reação é usada para ferver a água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.

II. a turbina, que adquire uma energia cinética de rotação, é acoplada mecanicamente ao gerador para produção de energia elétrica.

III. a água depois de passar pela turbina é pré-aquecida no condensador e bombeada de volta ao reator.

Dentre as afirmações anteriores, somente está(ão) correta(s)

A) I.
B) II.
C) III.
D) I e II.
E) II e III.

GABARITO

Fixação

01. E
02. B
03. A
04. C
05. B

Propostos

01. E
02. D
03. D
04. D
05. B
06. E
07. C
08. B
09. A
10. Soma = 13
11. A) $T_L > T_K$, pois o produto PV (que, para um gás ideal, é proporcional a T) é maior no estado L.

B) Sim, pois o trabalho positivo realizado pelo gás (área sob a curva do gráfico P *versus* V na expansão) é maior que o trabalho negativo realizado sobre o gás (área sob a curva do gráfico na compressão).

C) Não, pois, de acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, não é possível existir um motor capaz de realizar a conversão integral do calor fornecido em trabalho.

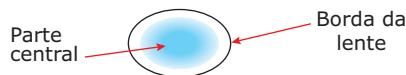
12. W = $1,6 \times 10^7$ cal
13. A) P = 40 MW

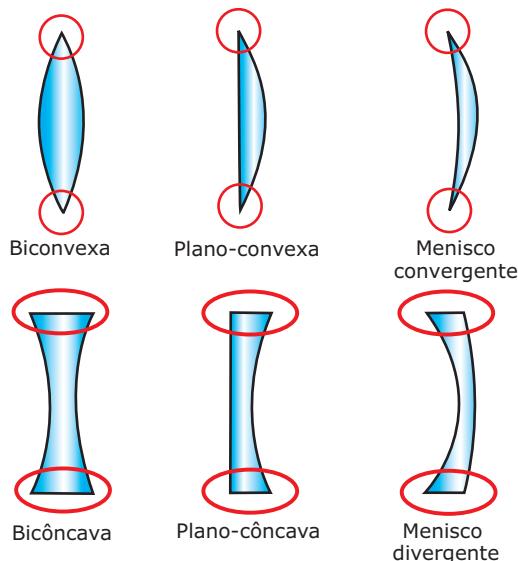
B) $\Delta T = 3$ °C

Seção Enem

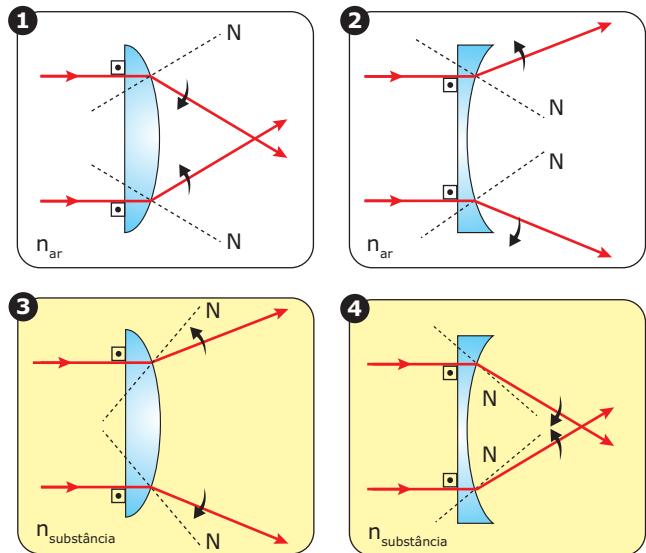
01. D
02. B
03. E
04. A
05. D

FÍSICA

Lentes esféricas

MÓDULO 05 FRENTE C

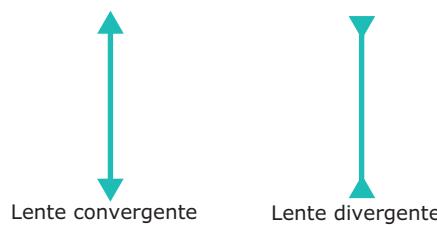
Uma lente, seja de vidro ou de qualquer outro material transparente, tem a função de refratar a luz, de modo a formar imagens dos objetos. Elas são usadas em dispositivos ópticos, tais como o olho humano, a máquina fotográfica, os óculos, o microscópio e muitos outros.

As figuras a seguir mostram alguns óculos. Observe que o formato das lentes, vistas de frente, depende apenas da armação na qual são usadas.

Imagine uma lente vista de frente. Ela possui uma borda e uma parte central. A figura a seguir mostra esses elementos. A parte central da lente está em destaque colorido. A borda da lente é mostrada na figura pela linha preta.

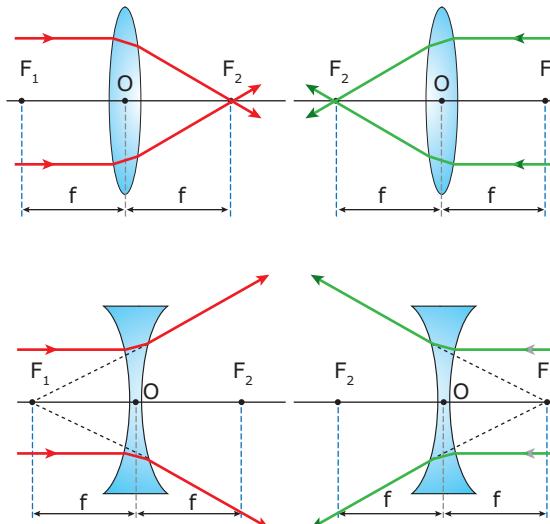
Se qualquer uma das lentes das figuras anteriores for vista de perfil, ou seja, se ela for colocada perpendicularmente a esta página, o formato das suas faces vai definir o tipo de lente em questão. Cada face de uma lente, quando olhada pela parte externa, pode ser plana, côncava ou convexa. Veja a seguir algumas lentes vistas de perfil e seus respectivos nomes. A borda de cada lente está em destaque, com linhas vermelhas.

As três primeiras lentes mostradas têm bordas muito finas e podem quebrar com facilidade. Por isso, elas são aparadas nas bordas, de modo que tenham uma maior resistência mecânica no contato com a armação dos óculos. Assim, é importante você olhar a borda comparada com a parte central. Veja a seguir.

Observe que a parte central continua mais "grossa" que a borda da lente.

Vamos analisar o comportamento da luz que chega a uma lente. Veja as figuras a seguir. Em todas elas, a luz incide sobre a lente perpendicularmente à sua face e, por isso, penetra na lente sem sofrer desvio. Nas figuras, N representa a reta normal à superfície da lente no ponto em que a luz sai para o meio externo. As duas primeiras lentes (1 e 2) estão imersas no ar, que apresenta índice de refração menor que o da lente. Observe que a luz deve se afastar da normal (N) ao passar da lente para o ar. Dessa forma, a lente 1 converge os raios de luz, enquanto a lente 2 os diverge. Assim, podemos concluir que, quando imersas em substâncias de índice de refração **menor** que os seus, as lentes de bordas mais finas do que a parte central são **convergentes**, e as lentes de bordas mais largas que a parte central são **divergentes**.

Nas figuras 3 e 4, as lentes estão mergulhadas numa substância que apresenta índice de refração maior que o da lente ($n_{subst.} > n_{lente}$). Dessa forma, a luz vai se aproximar da normal ao sair da lente para o meio externo. Olhe, com atenção, as figuras 3 e 4 e veja que as lentes inverteram as suas características em relação a seu uso em meios cujos índices de refração são menores que o da lente. Aquela de borda mais fina (3) está funcionando como lente divergente, e a de borda mais espessa (4) está convergindo a luz. Veja no quadro a seguir o resumo do comportamento das lentes.

Lentes de bordas	Índices de refração	Funcionam como lentes
FINAS	$n_{lente} > n_{meio}$	**Con**vergentes
	$n_{meio} > n_{lente}$	**Di**vergentes
GROSSAS	$n_{lente} > n_{meio}$	**Di**vergentes
	$n_{meio} > n_{lente}$	**Con**vergentes

Um caso particular a ser considerado ocorre se a lente e o meio em torno dela apresentam o mesmo índice de refração e ambos são transparentes. Nesse caso, não haverá refração quando a luz entra ou sai da lente (não existe mudança na velocidade da luz). Assim, os raios vão atravessar a lente sem sofrer qualquer desvio, e não é possível distinguir a lente do meio em que foi colocada. Dessa forma, ela ficará invisível dentro da substância.

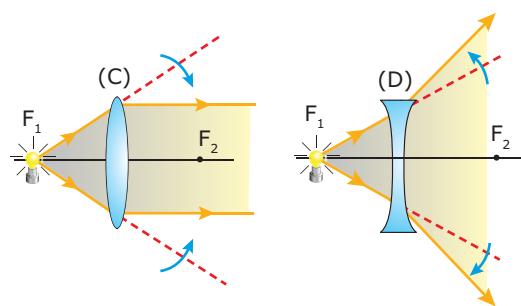
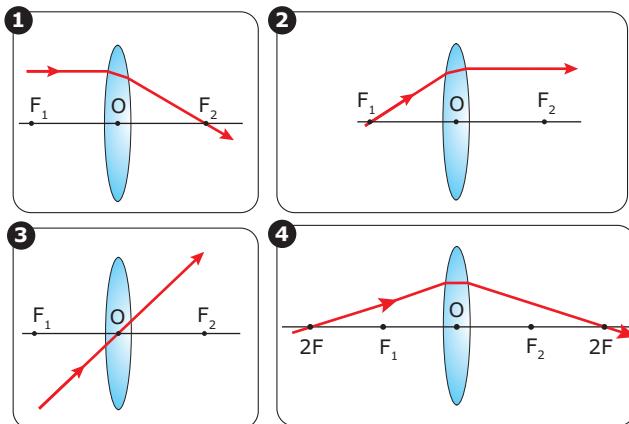
Em nosso estudo, exceto quando for explicitado, vamos considerar os seguintes aspectos:

1. A lente é mais refringente que o meio no qual ela está imersa ($n_{lente} > n_{meio}$);
2. As lentes devem ter pequena espessura (delgadas). Por esse motivo, nas figuras que se seguem, vamos traçar os raios como se eles refratassem, apenas uma vez, no meio da lente;
3. A luz que chega às lentes é monocromática;
4. A luz incide apenas na região central das lentes (formando pequenos ângulos com o eixo principal).

As lentes convergente e divergente costumam ser representadas pelos símbolos a seguir. Veja que a lente convergente é representada por uma dupla seta com as "pontas finas", e a lente divergente, por uma dupla seta com as "pontas largas". Não usaremos essa simbologia em nosso material.

Lente convergente   Lente divergente

ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UMA LENTE

Uma lente apresenta dois focos (F_1 e F_2), um de cada lado da lente e sempre equidistantes dela. Isso significa que qualquer lente esférica delgada pode ser usada de qualquer um dos seus lados. Vamos convencionar que o foco 1 está sempre do lado em que a luz incide na lente. O ponto central da lente é chamado de centro óptico e é representado pela letra O. A distância do foco ao centro óptico é a distância focal da lente (f). A linha que une os focos e o centro óptico da lente é o seu eixo principal. Comprove, pelas figuras a seguir, que os focos (e a distância focal) independem da região em que a luz incide sobre a lente.

Observe que os focos da lente convergente são os pontos para os quais convergem os raios que incidem sobre a lente paralelamente ao eixo óptico desta. Por isso, os focos das lentes convergentes são chamados de focos reais. Na lente divergente, os prolongamentos desses raios refratados pela lente definem os focos e, assim, estes são considerados virtuais.

RAIOS NOTÁVEIS NAS LENTES

Lente convergente

Na lente convergente, existem dois pontos do eixo principal, cada um deles chamado de **ponto antiprincipal** (2F), cuja distância ao centro óptico da lente é igual a duas vezes a distância focal (2f). Podemos estabelecer uma analogia entre esses pontos e o centro de curvatura dos espelhos côncavos. Os raios de luz notáveis para esse tipo de lente são:

1. Raio de luz que chega paralelo ao eixo principal e é refratado passando pelo foco 2;
2. Raio de luz que chega passando pelo foco 1 e é refratado paralelamente ao eixo principal;
3. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer desvio;

4. Raio de luz que incide sobre a lente passando pelo ponto antiprincipal (2F), atravessa a lente e é refratado em direção ao ponto 2F, do outro lado desta.

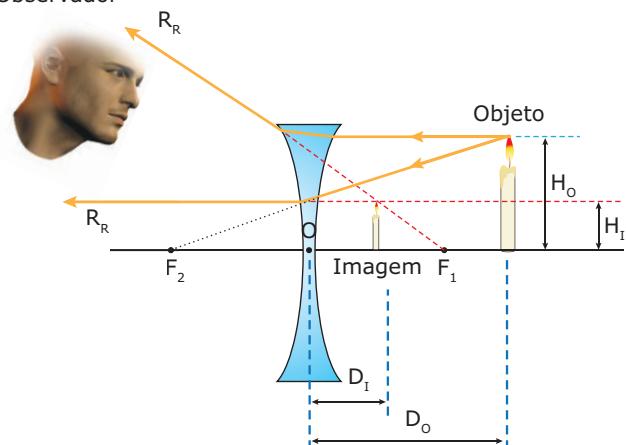
Lente divergente

Na lente divergente, é suficiente conhecer apenas três raios notáveis:

1. Raio de luz que incide sobre a lente paralelamente ao eixo principal desta e é refratado de forma que seu prolongamento passe pelo foco 1;
2. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do foco 2 e é refratado paralelamente ao eixo principal desta;
3. Raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer desvio.

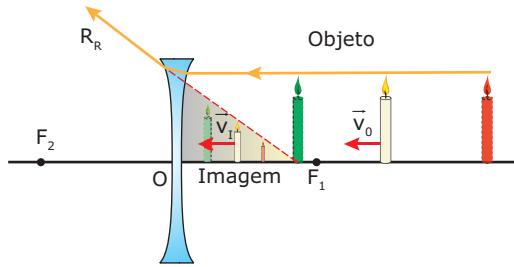
Atenção: Na lente divergente, **não** é conveniente traçar o raio incidente passando pelo foco 1, pois ele não é um raio notável.

Considere uma pequena lâmpada posicionada sobre o foco 1 de uma lente convergente (C) e, também, sobre o foco 1 de uma lente divergente (D). Veja a seguir.

As linhas pontilhadas (vermelhas) representam o trajeto inicial dos raios extremos do feixe de luz. Após atravessar as lentes, os raios de luz se aproximam e se afastam (ainda mais) nas lentes C e D, respectivamente. Assim, as lentes C e D estão, respectivamente, convergindo e divergindo a luz. As setas azuis mostram o desvio sofrido por cada raio extremo do feixe.

DETERMINAÇÃO GRÁFICA DAS IMAGENS

Em um espelho, a luz que incide sobre este é refletida de volta ao mesmo lado de origem. Em uma lente, ao contrário, a luz que incide sobre ela a atravessa e é refratada para o outro lado. Essa diferença entre espelhos e lentes é a causa da distinta obtenção de imagens por meio deles.

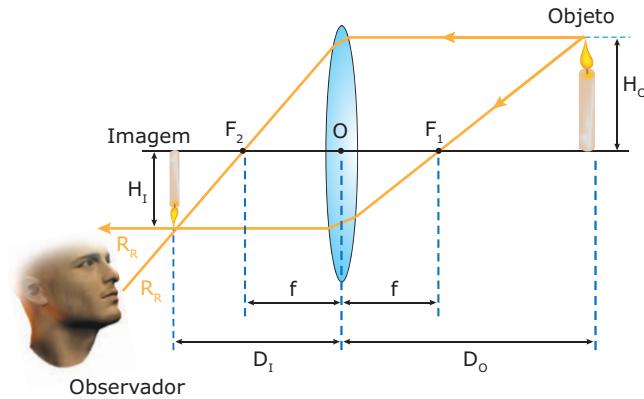
Lente divergente

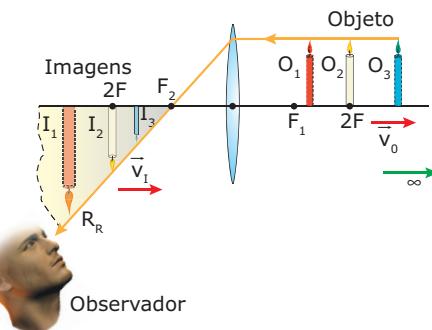
Uma lente divergente forma um tipo único de imagem, independentemente da posição do objeto em relação a ela. Veja a seguir.

Observe que os raios refratados (R_R) pela lente são divergentes e não se cruzam. A imagem do objeto é obtida prolongando-se esses raios (pontilhados vermelhos). O observador tem a sensação de que os raios refratados saíram da "cabeça" da imagem.

Assim, o observador vê a imagem na posição mostrada, e essa imagem é, **sempre**,

1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios refratados);
2. **direta** (objeto e imagem de cabeças para cima);
3. **mais perto** da lente do que o objeto ($D_I < D_O$);
4. **menor** que o objeto ($H_I < H_O$ e $L_I < L_O$);
5. posicionada **entre** o **foco 1** e o **centro óptico** da lente (O).

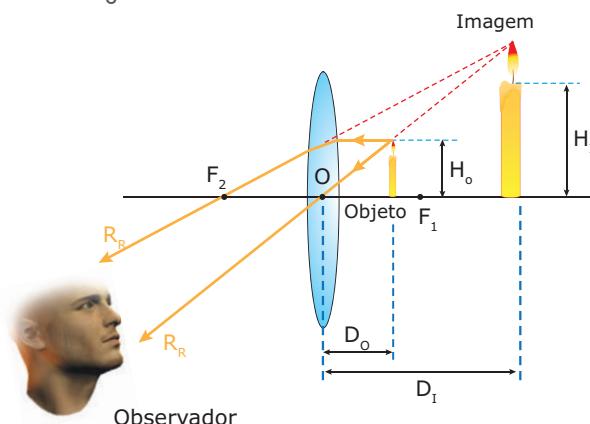
Se o objeto se **aproxima** (ou se afasta) da lente, a imagem também se **aproxima** (ou se afasta). Veja a seguir que, para qualquer posição do objeto (mesmo **sobre o foco 1** da lente), o raio incidente, que é paralelo ao eixo, tem o mesmo raio refratado e o mesmo prolongamento. Dessa forma, a imagem estará sempre dentro do "triângulo" sombreado.

Assim, qualquer que seja a posição do objeto, ainda que muito distante da lente, a imagem dele estará sempre perto da lente.

No caso de o objeto se colocar muito distante da lente ("infinito"), a sua imagem estará praticamente sobre o foco da lente e será muito pequena.

Lente convergente

A lente convergente, ao contrário da lente divergente, pode formar diversos tipos de imagens, dependendo da posição do objeto em relação ao foco e em relação ao ponto antiprincipal. Assim, a imagem pode ser real ou virtual e pode ser maior, menor ou igual ao objeto. Veja os casos a seguir.

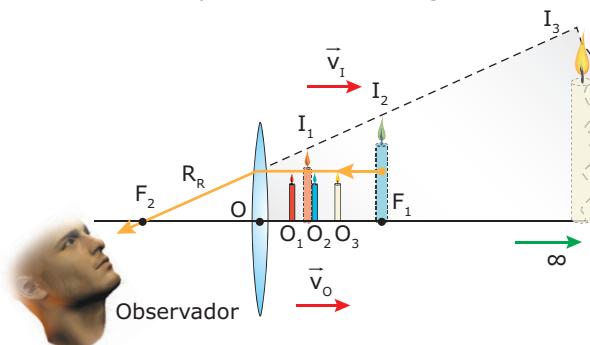
Objeto entre o infinito e o foco ($\infty > D_O > f$)

Observe, na figura anterior, que os próprios raios refratados se cruzam. Na posição de encontro deles, ocorre a formação de uma **imagem real** (nesse ponto, a luz está chegando realmente). Essa é a imagem da "cabeça" do objeto. Logo, a imagem é **invertida**, tanto vertical quanto lateralmente. Se houvesse uma folha de papel, por exemplo, na posição em que a imagem se forma, esta seria projetada sobre essa folha.

Se um objeto se **afasta** de uma lente convergente, a sua imagem real se **aproxima** dela e vice-versa. A figura a seguir mostra um objeto colocado em alguns pontos além do foco de uma lente convergente ($D_O > f$). Em todas essas situações, a imagem é **real** e **invertida**. As únicas diferenças entre as imagens são referentes às dimensões e à localização destas. Em qualquer um dos casos, a imagem estará localizada dentro do "triângulo" destacado.

Veja a seguir as particularidades das imagens formadas por uma lente convergente. Compare com as imagens formadas por um espelho côncavo e observe que a natureza, a localização e as dimensões dessas imagens são idênticas. Lembre-se de que o ponto antiprincipal da lente (2F) equivale, no espelho côncavo, ao centro de curvatura.

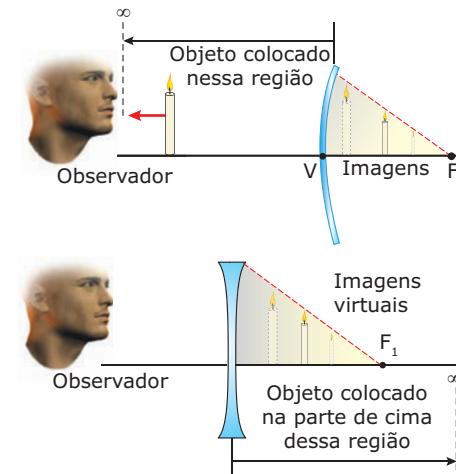
Posição do objeto	Natureza, posição e dimensões da imagem
Entre 2F e F $2f > D_O > f$	Imagem **real**, **invertida** e localizada entre 2F e o infinito. $D_I > D_O$ e $H_I > H_O$
Sobre 2F $D_O = 2f$	Imagem **real**, **invertida** e localizada sob 2F. $D_I = D_O$ e $H_I = H_O$
Além de 2F $D_O > 2f$	Imagem **real**, **invertida** e localizada entre 2F e F_2. $D_I < D_O$ e $H_I < H_O$

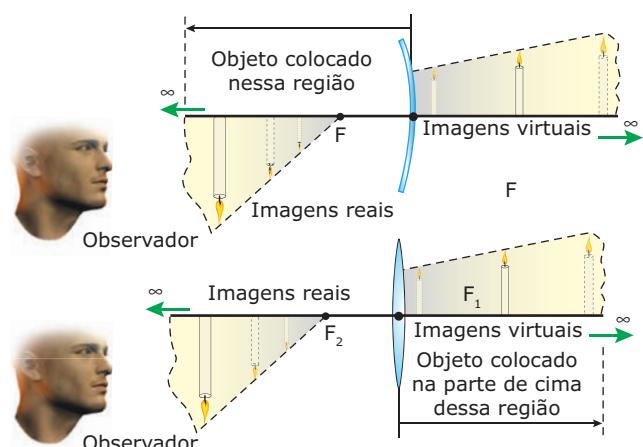
Uma situação particular ocorre para um objeto muito distante da lente ($D_O >> 2f$). Nesse caso, dizemos que o objeto está no "infinito". A imagem formada pela lente convergente, nessa situação, é real, invertida, muito pequena e se localiza, praticamente, sobre o foco ($D_I \cong f$). Se você usa uma lente convergente para "queimar papel", você está projetando a imagem do Sol (que está no infinito) sobre a folha. Outra situação particular e interessante ocorre quando o objeto encontra-se sobre o foco da lente. Nessa situação, os raios refratados pela lente são paralelos, não se cruzam (nem os seus prolongamentos) e não ocorre a formação de imagem. Alguns autores consideram que nessa situação a imagem se forma no infinito e, por isso, ela é chamada de "imprópria".

Objeto entre o foco e o centro óptico da lente ($D_0 < f$)

Observe na figura anterior que , quando o objeto encontra-se entre o foco e o centro óptico da lente, os raios refratados por ela são divergentes e não se cruzam. A imagem se forma no ponto em que os prolongamentos dos raios refratados se encontram e, portanto, essa imagem é virtual. As características da imagem para tal posição do objeto são:

1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios refratados);
2. **direta** (não existe inversão vertical);
3. **sem inversão** lateral;
4. de dimensões (altura e largura) **maiores** que as do objeto ($H_I > H_O$ e $L_I > L_O$);
5. **mais distante** da lente que o objeto ($D_I > D_O$) e sempre do mesmo lado deste.

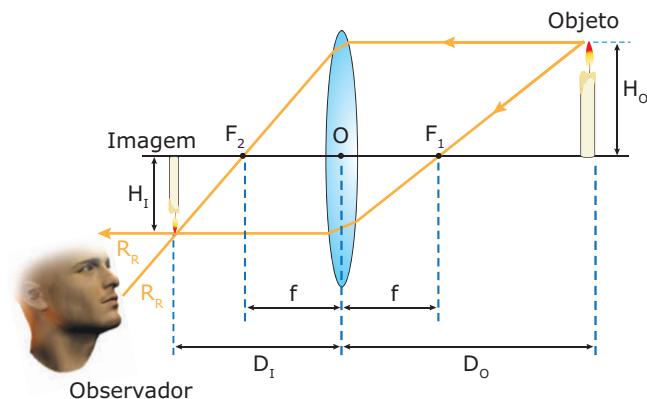
A situação representada na figura anterior tem uma aplicação importante e usual. Nesse caso, a lente é chamada de "lente de aumento" (ou **lupa**) e é muito usada para ampliar imagens de pequenos objetos. Para destacar uma informação dada no início do módulo, uma lupa pode ser usada, indistintamente, com qualquer uma das suas faces.

Na situação anterior, se o objeto se **afasta** da lente, aproximando-se do foco, a imagem também se **afasta** dela e tende ao infinito. Veja a seguir algumas posições das imagens formadas por uma lente convergente quando o objeto se desloca entre o centro óptico (O) e o foco 1 dessa lente. As imagens, virtuais, estão sempre dentro do "triângulo" destacado.

Veja com atenção as posições dos objetos (O_1, O_2 e O_3) e das correspondentes imagens (I_1, I_2 e I_3). Um fato importante deve ser destacado em relação à posição de cada imagem. Ela pode estar em qualquer posição entre o centro óptico da lente (O) e o infinito (∞). A única exigência, nessa situação, é de que a imagem esteja mais distante da lente do que o objeto ($D_I > D_O$).

Você deve ter notado que, para objetos reais, toda imagem **real** é **invertida** e qualquer imagem **virtual** é **direta**.

COMPARAÇÃO ENTRE ESPELHOS E LENTES

Vamos agora fazer uma comparação importante entre as imagens formadas por espelhos esféricos e as imagens formadas por lentes. Nas duas comparações a seguir, o objeto pode se deslocar do dispositivo óptico até o "infinito". Observe as figuras adiante e analise as imagens virtuais formadas pelo espelho convexo e pela lente divergente.

Note que as imagens se localizam, exclusivamente, entre o elemento óptico e o seu foco (dentro dos triângulos destacados) e do lado oposto à posição do observador.

Veja, a seguir, as imagens reais e virtuais formadas por um espelho côncavo e por uma lente convergente.

Veja, nas figuras anteriores, que só não há formação de imagem entre o dispositivo óptico e o foco que está do lado do observador. O quadro a seguir resume essas conclusões.

Tipo de imagem	Posições nas quais se localizam as imagens na(o)	
	Lente	**Espelho**
Real	Do lado oposto ao objeto em relação à lente	Do mesmo lado que o objeto em relação à lente
Virtual	Do mesmo lado que o objeto em relação à lente	Do lado oposto ao objeto em relação à lente

Veja, ainda, que as imagens **reais**, formadas pelo espelho ou pela lente, estão sempre na mesma região que o observador. Já as imagens **virtuais** e o observador, seja no espelho ou na lente, estão em lados opostos do dispositivo óptico.

DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DA IMAGEM

As relações entre as grandezas H_O e H_I (alturas do objeto e da imagem), D_O e D_I (distâncias do objeto e da imagem à lente) e f (distância focal) para as lentes são obtidas da mesma forma que para os espelhos e, por isso, a sua demonstração será omitida. Considere a figura a seguir.

Essas relações, às idênticas a dos espelhos, são:

$$A = \frac{H_I}{H_O} = \frac{|D_I|}{D_O} \quad \text{e} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D}$$

Na primeira equação,

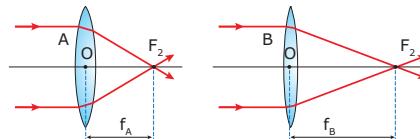
1. se A > 1, a imagem é **maior** do que o objeto e está **mais longe** da lente do que o objeto;
2. se A = 1, a imagem é do **mesmo tamanho** do objeto e está na **mesma distância** do objeto à lente;
3. se A < 1, a imagem é **menor** do que o objeto e está **mais perto** da lente do que o objeto.

Na 2ª equação (de Gauss), devemos usar a seguinte convenção de sinais, semelhante à usada para os espelhos:

1. em qualquer situação → $D_O > 0$ (positivo);
2. lente convergente → f > 0 (positivo);
3. lente divergente → f < 0 (negativo);
4. imagem real → $D_I > 0$ (positivo);
5. imagem virtual → $D_I < 0$ (negativo).

VERGÊNCIA OU GRAU DE UMA LENTE (V)

A vergência (V) de uma lente é determinada pelo tipo de lente e por sua capacidade de "ampliar ou reduzir" a imagem de um objeto colocado em certa posição. A vergência é definida como o inverso da distância focal (f), ou seja:

$$V = \frac{1}{f(m)}$$

Nessa equação, devemos ressaltar que

1. a unidade de medida da vergência é a **dioptria** (di) (vulgarmente chamada de "grau" da lente) e é igual a m^{-1};
2. para se obter a vergência de uma lente em dioptrias, devemos usar a distância focal dela em metros;
3. o sinal da distância focal determina o tipo de lente e, por isso, o sinal da sua vergência, a saber:

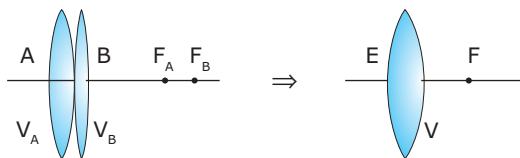
Lente convergente → f > 0 → V > 0 (positiva)

Lente divergente → f < 0 → V < 0 (negativa)

Considere as duas lentes A e B mostradas a seguir e observe os raios de luz que convergem para o foco 2 de cada uma delas. Veja que a lente A tem a curvatura das faces mais acentuada do que a da lente B. Isso faz com que a primeira lente seja mais convergente que a segunda. Observe a posição de cruzamento dos raios refratados (F_2 de cada uma). Considere, ainda, que as distâncias focais das lentes sejam f_A = 20 cm e f_B = 50 cm.

Como as duas lentes são convergentes, a distância focal e a vergência (grau) de cada uma delas são positivas e valem:

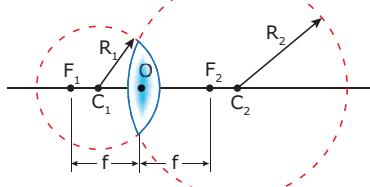
$V_A = 1/f_A = 1/0,20$ m ⇒ V_A = +5,0 di = +5,0 "graus"

$V_B = 1/f_B = 1/0,50$ m ⇒ V_B = +2,0 di = +2,0 "graus"

Observe que a vergência da lente A é maior que a da lente B. Se elas são usadas como lupa (objeto entre o foco 1 e o centro óptico de cada uma), a lente A, para objetos à mesma distância das lentes, fornece uma imagem virtual maior. Agora, uma pergunta para você refletir.

Para objetos colocados além do foco 1 das lentes ($D_O > f$) e à mesma distância delas, qual lente vai formar a maior imagem real?

Se as lentes fossem divergentes, suas vergências seriam $V_A = -5,0$ di e $V_B = -2,0$ di. Como a lente A tem a menor vergência, ela forma, para objetos à mesma distância das lentes, a menor imagem.

JUSTAPOSIÇÃO DE LENTES

Quando duas lentes, de vergências V_A e V_B, são justapostas coaxialmente, em **contato** uma com a outra, elas funcionam como se o sistema fosse formado por uma única lente equivalente (E) de vergência V. Veja a seguir.

A lente equivalente, nesse caso, apresenta uma distância focal menor que as distâncias focais das lentes A e B. Assim, a lente equivalente tem maior vergência do que as vergências individuais das lentes A e B. A vergência (V) da lente equivalente pode ser calculada por:

$$V = V_A + V_B$$

No dia a dia, a luz é, geralmente, policromática e incide em toda a extensão de uma lente. Se a lente apresenta uma vergência elevada, a imagem formada pode apresentar aberrações que atrapalham a sua visualização. As aberrações mais comuns são a esférica e a cromática. Para minimizar tais aberrações, os instrumentos ópticos usam uma justaposição de duas ou mais lentes, de modo que uma lente minimize a aberração produzida pela outra.

EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES

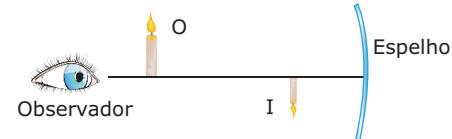
A face de uma lente esférica tem origem numa esfera de raio R. A figura a seguir mostra uma lente de índice de refração n_L que, propositadamente, tem faces de curvaturas diferentes. Nela, C_1 e C_2 representam os centros das esferas que deram origem às faces de raios iguais a R_1 e R_2, respectivamente. A lente está mergulhada numa substância de índice de refração igual a n_{meio}.

Considere que os focos 1 e 2 da lente sejam F_1 e F_2, conforme mostrado anteriormente. A distância focal (f) da lente pode ser calculada por meio da equação dos fabricantes de lentes, mostrada a seguir:

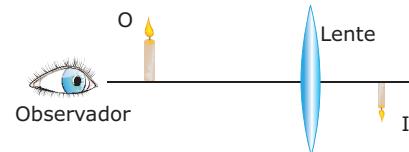
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_L}{n_{meio}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Nessa equação, devemos seguir esta convenção de sinais para os raios das faces da lente:

- Face convexa ⇒ $R > 0$ (positivo);
- Face côncava ⇒ $R < 0$ (negativo);
- Face plana ⇒ $R \to \infty$ ($1/R \to 0$).

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. No esquema mostrado a seguir, O é um objeto real e I, sua imagem, conjugada por um dispositivo óptico. A partir das informações e do diagrama seguinte, determinar a posição do observador e do dispositivo óptico, se este for

A) um espelho esférico;

B) uma lente esférica delgada.

Resolução:

Observe que a imagem é invertida, portanto, ela é real. Os únicos dispositivos que formam imagem real (de um objeto real) são os espelhos côncavos e as lentes convergentes. Como a imagem é menor que o objeto ($H_I < H_O$), a distância dela ao dispositivo deve ser menor que a distância do objeto a ele ($D_I < D_O$). Sendo assim, temos:

A) Se o dispositivo é um espelho, a imagem real fica do mesmo lado que o objeto e o observador, em relação ao espelho. Logo, o espelho deve ficar à direita da imagem e do objeto. Como $D_I < D_O$, o espelho deve ficar à direita da imagem e o observador, à esquerda dela.

B) Se o dispositivo é uma lente, a imagem real fica do lado oposto do objeto, em relação à lente. Portanto, a lente deve ficar entre o objeto e a imagem e mais perto dela ($D_I < D_O$). O observador, para ver a imagem real, deve ficar à direita da imagem.

02. Uma lente de vidro (n_L = 1,5), imersa no ar, possui uma face côncava e outra convexa, de raios R_1 e R_2, cujos valores, em módulo, são 60 cm e (60/7) cm, respectivamente. Um objeto de 10 cm de altura é colocado a 30 cm de distância do centro óptico da lente.

A) Calcular a distância focal e a vergência da lente.

B) Determinar o tipo de imagem formada, a sua altura e sua distância até o objeto.

C) Essa lente é justaposta a uma outra lente plano-côncava, cuja vergência é, em módulo, $|V_2|$ = 3,0 di. Responder se a lente equivalente será convergente ou divergente.

Resolução:

A) Para determinar a distância focal (f), vamos usar a equação dos fabricantes de lentes, com os seguintes dados: R_1 = –60 cm (face côncava), R_2 = +(60/7) cm (face convexa) e n_{ar} = 1,0.

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_L}{n_{meio}}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\Rightarrow\frac{1}{f}=\left(\frac{1,5}{1,0}-1\right)\left(\frac{1}{-60}+\frac{7}{60}\right)$$

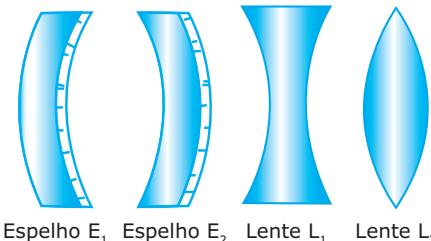
$$\frac{1}{f}=\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{6}{60}\right)\quad\Rightarrow\ f = 20\text{ cm}$$

Assim, a vergência (V) da lente é:

$V = 1/f(m) = 1/0,2\text{ m} \Rightarrow V = 5,0$ di

Como a distância focal e a vergência são positivas, a lente é convergente.

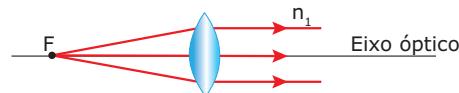
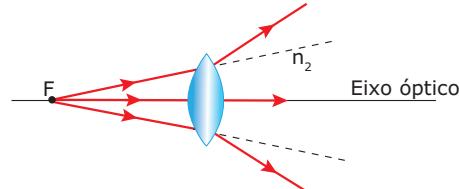
B) Vamos usar as equações de Gauss e da ampliação para determinar as características da imagem:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{D_O}+\frac{1}{D_I}\Rightarrow\frac{1}{20}=\frac{1}{30}+\frac{1}{D_I}\Rightarrow D_I=60\text{ cm}$$

$$A=\frac{H_I}{H_O}=\frac{|D_I|}{D_O}\Rightarrow\frac{H_I}{10}=\frac{60}{30}\Rightarrow H_I=20\text{ cm}$$

Como D_I é positivo, a imagem é real. Utilizando-se lentes, a imagem real fica do lado oposto do objeto em relação ao dispositivo. Assim, a distância imagem-objeto é a soma $D_I + D_O$. Portanto, a imagem formada é real, invertida, tem o dobro da altura do objeto (H_I = 20 cm), e a distância objeto-imagem é de 90 cm.

C) A lente a ser justaposta é plano-côncava e, por isso, estando imersa no ar, ela é divergente. Logo, sua vergência é V_2 = –3,0 di. A vergência da lente equivalente é $V_E = V + V_2$ = 5,0 + (–3,0) = 2,0 di. Como a vergência total é positiva, a lente equivalente possui comportamento convergente.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFMG) As figuras representam, de forma esquemática, espelhos e lentes.

Para se projetar a imagem de uma vela acesa sobre uma parede, pode-se usar

A) o espelho E_1 ou a lente L_2.

B) o espelho E_1 ou a lente L_1.

C) o espelho E_2 ou a lente L_2.

D) o espelho E_2 ou a lente L_1.

02. (UFLA-MG) Coloca-se uma pequena lâmpada no foco de uma lente de índice de refração n_L e, em seguida, imerge-se o conjunto num líquido de índice de refração n_1.

Repetindo-se o procedimento anterior num segundo líquido, com índice de refração n_2, obteve-se o seguinte percurso para os raios luminosos:

É **CORRETO** afirmar que

A) $n_2 > n_1 > n_L$.

B) $n_2 = n_L > n_1$.

C) $n_L > n_2 > n_1$.

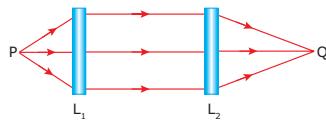
D) $n_2 > n_L > n_1$.

E) $n_L = n_1 > n_2$.

03. (FJP-MG–2010) Uma lente de vidro é utilizada para projetar a imagem de um objeto sobre uma tela, como representado nesta figura. Nessa situação, uma imagem nítida do objeto é observada sobre a tela. Em seguida, a lente é substituída por outra lente do mesmo material, porém mais espessa no centro.

Para que, após essa substituição, uma imagem nítida do objeto se forme sobre a tela, foram sugeridos dois procedimentos:

I. afastar a tela da lente, mantendo o objeto na mesma posição;

II. aproximar o objeto da lente, mantendo a tela na mesma posição.

Considerando essas informações, é **CORRETO** afirmar que o resultado desejado pode ser produzido

A) apenas com o primeiro procedimento.

B) apenas com o segundo procedimento.

C) com os dois procedimentos.

D) com nenhum dos dois procedimentos.

04. (UFLA-MG) Um objeto real que se encontra a uma distância de 25 cm de uma lente esférica delgada divergente, cuja distância focal é, em valor absoluto, também de 25 cm,

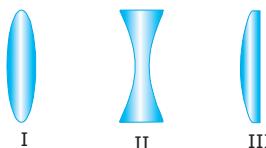
A) não fornecerá imagem.

B) terá uma imagem real, invertida e do mesmo tamanho do objeto, a 25 cm da lente.

C) terá uma imagem real, invertida e ampliada, a 12,5 cm da lente.

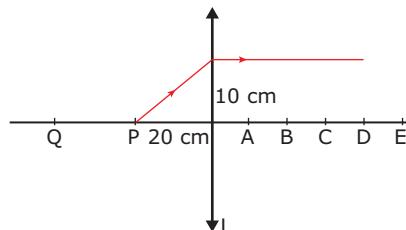
D) terá uma imagem virtual, direita e ampliada, a 25 cm do objeto.

E) terá uma imagem virtual, direita e reduzida, a 12,5 cm do objeto.

05. (UFMG) Na figura, estão representados três raios de luz emergindo de uma fonte localizada em P, passando pelas lentes delgadas (L_1 e L_2), ocultas pelas caixas, e atingindo Q.

Com relação ao perfil das lentes L_1 e L_2, respectivamente, a afirmativa **CORRETA** é

A) B) C) D)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFMG) Nesta figura, está representado o perfil de três lentes de vidro.

Rafael quer usar essas lentes para queimar uma folha de papel com a luz do Sol.

Para isso, ele pode usar apenas

A) a lente I.

B) a lente II.

C) as lentes I e III.

D) as lentes II e III.

02. (Cesgranrio) A partir de uma lente biconvexa L e sobre seu eixo principal, marcam-se cinco pontos A, B, C, D e E a cada 10 cm, conforme ilustra a figura.

Observa-se que um raio luminoso emitido de um ponto P, distante 20 cm dessa lente, após atravessá-la, emerge paralelamente ao seu eixo principal. Portanto, se esse raio for emitido de um ponto Q, situado a 40 cm dessa lente, após atravessá-la, ele irá convergir para o ponto

A) A.

B) B.

C) C.

D) D.

E) E.

03. (EFOA-MG) Colocando-se um objeto em frente a uma lente de distância focal f, observa-se que a imagem formada desse objeto é invertida, e sua altura é menor que a do objeto. É **CORRETO** afirmar que

A) o objeto deve estar situado a uma distância da lente maior que 2f.

B) a imagem formada é virtual.

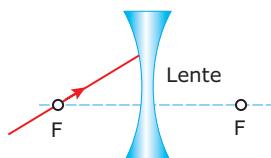
C) a lente é divergente.

D) o objeto deve estar situado entre o foco e a lente.

E) em relação à lente, a imagem formada encontra-se no mesmo lado do objeto.

04. (UFPR–2007) Um estudante usando uma lupa sob a luz do Sol consegue queimar uma folha de papel devido à concentração dos raios do Sol em uma pequena região. Ele verificou que a maior concentração dos raios solares ocorria quando a distância entre o papel e a lente era de 20 cm. Com a mesma lupa, ele observou letras em seu relógio e constatou que uma imagem nítida delas era obtida quando a lente e o relógio estavam separados por uma distância de 10 cm. A partir dessas informações, considere as seguintes afirmativas:

1. A distância focal da lente vale f = 20 cm.
2. A imagem das letras formada pela lente é invertida e virtual.
3. A lente produz uma imagem cujo tamanho é duas vezes maior que o tamanho das letras impressas no relógio.

Assinale a alternativa **CORRETA**.

A) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.

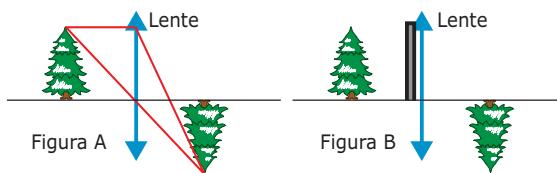
B) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.

C) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.

D) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.

E) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

05. (EFOA-MG) Duas lentes iguais são fabricadas com um material cujo índice de refração é $n_L = 1,5$. Para testar suas propriedades ópticas, uma delas é colocada em um recipiente contendo um meio A (índice de refração $n_A = 1,5$). A outra lente é colocada em um recipiente contendo um meio B (índice de refração $n_B = 1,7$), conforme figura a seguir. Faz-se incidir, então, na lente dentro de cada um dos recipientes, um feixe de luz monocromática.

Com base nesse experimento, podemos afirmar que

A) no meio A, a lente não funcionará como lente e, no meio B, a lente será divergente.

B) no meio A, a lente não funcionará como lente e, no meio B, a lente será convergente.

C) no meio A, a lente será convergente e, no meio B, a lente será divergente.

D) no meio A, a lente será divergente e, no meio B, a lente será divergente.

E) as lentes serão sempre convergentes, independentemente do meio em que se encontram.

06. (Milton Campos-MG) A figura a seguir mostra um estreito feixe monocromático de luz, propagando-se inicialmente no ar e incidindo numa lente delgada de vidro.

Entre as alternativas a seguir, assinale aquela que **MELHOR** representa o comportamento do feixe após ultrapassar a lente.

A)

B)

C)

D)

07. (UFLA-MG) Uma lente forma a imagem real de um objeto, como mostra a figura A a seguir. Cobrindo-se metade da lente, como mostrado na figura B, o que acontece com a imagem?

A) A imagem continua a ser formada, porque a luz é um fluido e contorna obstáculos.

B) A imagem deixará de ser formada, porque só os raios que atravessam a metade superior da lente contribuem para a formação da imagem.

C) A imagem continua a ser formada, com menor intensidade, pelos raios luminosos que atravessam a metade inferior da lente.

D) A imagem continua a ser formada sem alteração de intensidade, pois apenas os raios que passam pela metade inferior da lente contribuem para a formação da imagem.

E) A imagem passa a ser virtual e formada do lado esquerdo da lente.

08. (Fatec-SP) "Olho mágico" é um dispositivo de segurança residencial constituído simplesmente de uma lente esférica. Colocado na porta de apartamentos, por exemplo, permite que se veja o visitante que está no *hall* de entrada. Quando um visitante está a 50 cm da porta, um desses dispositivos forma, para o observador dentro do apartamento, uma imagem três vezes menor e direita do rosto do visitante. Assinale a alternativa que se aplica a esse caso quanto às características da lente do olho mágico e o seu comprimento focal (f).

A) Divergente, f = −300 cm.

B) Divergente, f = −25 cm.

C) Divergente, f = −20 cm.

D) Convergente, f = +20 cm.

E) Convergente, f = +300 cm.

09. (Cesgranrio) Em uma aula sobre Óptica, um professor, usando uma das lentes de seus óculos (de grau + 1,0 di), projeta, sobre uma folha de papel colada ao quadro de giz, a imagem da janela que fica no fundo da sala (na parede oposta à do quadro). Para isso, ele coloca a lente a 1,20 m da folha. Com base nesses dados, é **CORRETO** afirmar que a distância entre a janela e o quadro de giz vale

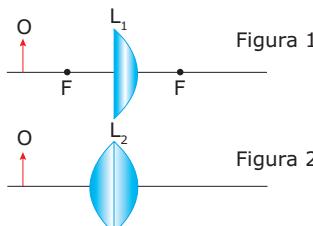
A) 2,4 m.

B) 4,8 m.

C) 6,0 m.

D) 7,2 m.

E) 8,0 m.

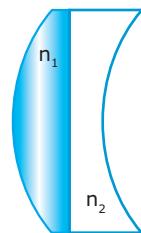
10. (CEFET-MG–2008) Um objeto O é colocado sobre o eixo principal de duas lentes de vidro L_1 e L_2, conforme mostram as seguintes figuras. As lentes estão no ar, e F representa o foco da lente L_1. Sobre as lentes, afirma-se:

I. A lente L_2 é convergente, enquanto L_1 é divergente.

II. A distância focal de L_2 é menor do que a de L_1.

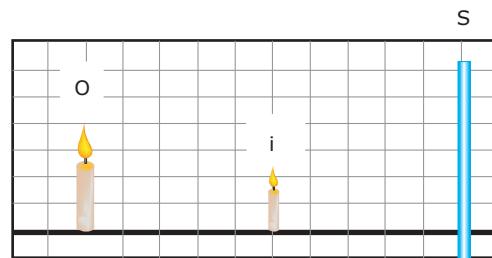
III. A imagem de O produzida por L_2 é maior do que a produzida por L_1.

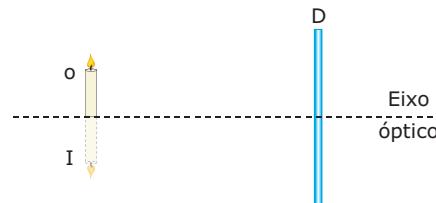
IV. As imagens de O geradas pelas duas lentes são reais.

Estão **CORRETAS** apenas as afirmações

A) I e II.
B) I e III.
C) II e III.
D) II e IV.
E) III e IV.

11. (UNIFESP) Tendo-se em vista que as lentes são, na prática, quase sempre usadas no ar, a equação dos fabricantes de lentes costuma ser escrita na forma:

$$C = (n - 1)[(1/R_1) + (1/R_2)]$$

Nessas condições, pode-se afirmar que a convergência de uma lente plano-convexa de índice de refração n = 1,5 e cujo raio da face convexa é R = 20 cm é

A) 0,50 di.
B) 1,0 di.
C) 1,5 di.
D) 2,0 di.
E) 2,5 di.

12. (UFTM-MG–2008) Duas lentes esféricas, uma plano-convexa e outra plano-côncava, são justapostas e inseridas no vácuo (índice de refração igual a 1). Os raios de curvatura de ambas as lentes têm o mesmo valor; entretanto, seus índices de refração diferem. A vergência do conjunto, resultado da adição das vergências individuais de ambas as lentes, em di, pode ser determinado por

A) $C = \frac{n_1 + n_2}{2R}$.

B) $C = \frac{n_1 + n_2}{R}$.

C) $C = \frac{n_1}{n_2} R$.

D) $C = \frac{n_1 - n_2}{R}$.

E) $C = \frac{n_2 - n_1}{R}$.

13. (UEL-PR) O esquema a seguir representa, em escala, um objeto O e sua imagem i conjugada por um sistema óptico S. O sistema óptico S compatível com o esquema é

A) um espelho côncavo.
B) um espelho convexo.
C) uma lente convergente.
D) uma lente divergente.
E) uma lâmina de faces paralelas.

14. (UFF-RJ) A figura representa um objeto real (O) e a sua imagem (I) obtida por um dispositivo óptico simples (D).

Sabendo que essa imagem é real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto, pode-se afirmar que o dispositivo óptico é

A) um espelho plano.
B) uma lente delgada convergente.
C) um espelho esférico convexo.
D) um espelho esférico côncavo.
E) uma lente delgada divergente.

15. (UNIRIO-RJ) Uma pessoa deseja construir um sistema óptico capaz de aumentar a intensidade de um feixe de raios de luz paralelos, tornando-os mais próximos, sem que modifique a direção original dos raios incidentes. Para isso, tem à sua disposição prismas, lentes convergentes, lentes divergentes e lâmina de faces paralelas. Tendo em vista que os elementos que constituirão o sistema óptico são feitos de vidro e estarão imersos no ar, qual das cinco composições a seguir poderá ser considerada como uma possível representação do sistema óptico desejado?

A)

B)

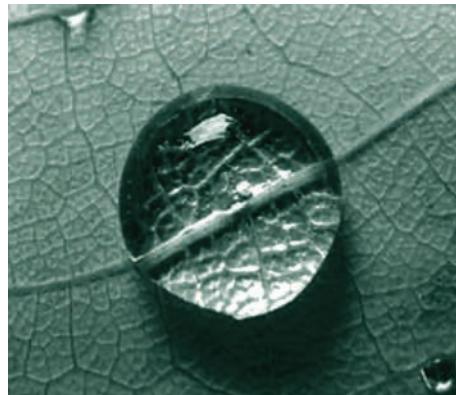
C)

D)

E)

16. (UEL-PR) Uma associação de lentes delgadas justapostas é formada por duas lentes. Uma delas é convergente, de distância focal igual a f. A distância focal da associação é 2f. Qual o tipo e a distância focal (x) da segunda lente?

A) Divergente; $|x| = 2f$
B) Convergente; $x > f$
C) Divergente; $|x| \neq f$
D) Convergente; $x < f$
E) Convergente; $x = f$

17. (UFJF-MG–2007) Considere um objeto e uma lente delgada de vidro no ar. A imagem é virtual e o tamanho da imagem é duas vezes o tamanho do objeto. Sendo a distância do objeto à lente de 15 cm,

A) **CALCULE** a distância da imagem à lente.
B) **CALCULE** a distância focal da lente.
C) **DETERMINE** a distância da imagem à lente, após mergulhar todo o conjunto em um líquido, mantendo a distância do objeto à lente inalterada. Nesse líquido, a distância focal da lente muda para aproximadamente 60 cm.
D) **DETERMINE** a nova ampliação do objeto fornecida pela lente.

SEÇÃO ENEM

01. As lentes convergentes podem formar imagens reais de objetos distantes do instrumento. Se o objeto está infinitamente afastado, por exemplo, elas formam imagens praticamente sobre o seu foco. Para todo objeto real, o tamanho (H_I) da imagem formada por uma lente pode ser calculado por: $H_I = H_O D_I / D_O$, em que H_O representa o tamanho do objeto e D_O e D_I, as distâncias do objeto e de sua imagem até a lente, respectivamente. A relação de Gauss, entre essas grandezas e a distância focal da lente, é $(1/f) = (1/D_O) + (1/D_I)$. Considere uma lente biconvexa circular, de diâmetro d = 10 cm e de distância focal f = 2,0 m (0,5 "grau"), usada para convergir a luz do Sol sobre uma folha de papel. Considere, ainda, que ela seja colocada perpendicularmente à incidência solar e que toda a energia que chega à lente é transmitida até a folha de papel. A distância média da Terra ao Sol é, aproximadamente, 200 vezes maior que o diâmetro deste. Dessa forma, essa lente consegue aumentar a densidade superficial de energia solar sobre o papel, a cada instante, em relação àquela que chegaria sem a lente em, aproximadamente,

A) 1%.
B) 10%.
C) 100%.
D) 1 000%.
E) 10 000%.

02. A figura mostra uma gota de água sobre uma folha, permitindo ver detalhes ampliados através dela, sem invertê-los. Na situação descrita, a gota funciona como

A) uma lente divergente, com o objeto colocado no seu plano focal.
B) uma lente divergente, com o objeto colocado entre seu plano focal e a própria lente.
C) uma lente convergente, com o objeto colocado além de seu plano focal.
D) uma lente convergente, com o objeto entre seu plano focal e a própria lente.
E) uma lente convergente, com o objeto colocado no seu plano focal.

GABARITO

Fixação

01. A
02. D
03. B
04. E
05. C

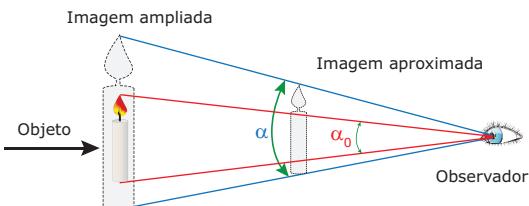
Propostos

01. C	04. D	07. C	10. D	13. D
02. D	05. A	08. B	11. E	14. D
03. A	06. A	09. D	12. D	15. D

16. A

17. A) $D_I = -30$ cm
B) f = 30 cm
C) $D_{I'} = -20$ cm
D) A = 1,33

Seção Enem

01. E
02. D

FÍSICA

Instrumentos ópticos

MÓDULO 06 FRENTE C

Os instrumentos ópticos permitem ao homem enxergar o mundo imediatamente à sua volta, bem como aquilo que está muito distante ou o que é muito pequeno. Um instrumento óptico forma uma imagem que, geralmente, é maior do que o objeto ou que "traz o objeto" para perto do olho do observador. Os instrumentos ópticos podem ser divididos em dois grupos: os instrumentos de projeção e os de observação. No primeiro grupo, temos o projetor (de *slides* ou multimídia), a máquina fotográfica e o olho humano, entre outros. Do segundo grupo, podemos citar o binóculo, o microscópio, o telescópio e os óculos. Outra forma de classificar os instrumentos ópticos se baseia na maneira como eles formam as imagens. Assim, temos os instrumentos refletores (que usam espelhos) e os instrumentos refratores (que usam lentes).

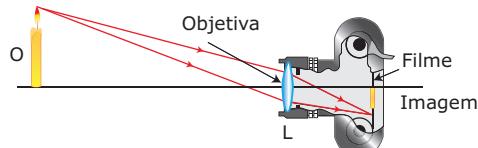
A visão que temos do tamanho de um objeto, ou de sua imagem, depende das suas dimensões e da distância a que ele se encontra do nosso olho. Ou seja, a impressão que temos do tamanho do objeto está relacionada com o ângulo (α) segundo o qual o objeto é visto. Quanto maior for esse ângulo, maior será a sensação que temos do tamanho do objeto. Observe a figura seguinte. Ela mostra um objeto que é visto, diretamente, segundo o ângulo visual α_0. A figura mostra também duas imagens do objeto, formadas de maneiras distintas. Na imagem à esquerda, a imagem do objeto foi ampliada, mas encontra-se na mesma posição que o objeto. Na imagem à direita, a imagem possui o mesmo tamanho que o objeto, no entanto, está mais próxima do observador. Veja que, nas duas situações, a imagem está sendo vista segundo um ângulo visual α, maior que α_0. Portanto, nos dois casos, o observador tem a impressão de um "objeto" maior.

Essas duas situações explicam o funcionamento de muitos instrumentos ópticos. Esses instrumentos formam imagens maiores que o objeto ou aproximam a imagem dos olhos do observador. Em ambos os casos, o ângulo segundo o qual a imagem é vista torna-se maior, justificando o uso do instrumento.

MÁQUINA FOTOGRÁFICA

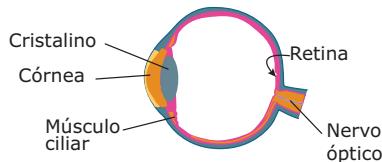
A câmera fotográfica tradicional é um instrumento de projeção no qual a imagem a ser registrada deve ser projetada sobre o filme, ou sobre o sensor óptico de câmeras digitais, que se encontra no interior destas. Por causa disso, a imagem formada deve ser real e, portanto, invertida. Assim, a distância da imagem à lente (D_I) será representada por um número positivo. A distância do objeto a ser fotografado à lente (D_O) varia conforme ele esteja longe ou perto da câmera.

As máquinas de média ou baixa qualidade, que não permitem ajustes em relação ao afastamento do objeto, possuem uma lente de pequena distância focal, em relação à distância a que o objeto se encontra da lente, chamada de objetiva. Dessa forma, qualquer objeto estará muito distante da câmera (no "infinito" em relação à lente) e, consequentemente, a sua imagem será formada no plano focal da lente. Portanto, para que a imagem seja projetada sobre o filme, este deve estar posicionado no plano focal da lente.

As câmeras profissionais permitem que objetos próximos ou distantes das câmeras sejam registrados com a mesma perfeição. Nesse caso, para que a imagem seja nítida (bem focada), a distância focal (f) da objetiva, ou a distância da película (onde se formará a imagem) à lente (D_I), deve ser ajustável. Nas câmeras com objetiva de distância focal constante, a distância da lente ao filme deve ser alterada, conforme mostrado a seguir.

$$\text{Constante} \rightarrow \left(\frac{1}{f}\right) = \frac{1}{D_O\uparrow} + \frac{1}{D_I\downarrow}$$

Veja que, para objetos distantes da câmera (D_O grande), a distância da imagem à lente (D_I) deve ser pequena e, para objetos próximos da máquina, D_I deve ser grande. A variação da distância da lente à imagem é obtida por meio da aproximação ou do afastamento da lente em relação ao filme. Isso pode ser feito de forma manual, como nas antigas câmeras "lambe-lambe", ou automática, como ocorre quando você "mira" o objeto a ser fotografado e percebe que a lente se desloca para a posição adequada. Algumas câmeras profissionais possuem mais de uma lente. O ajuste na focalização do objeto é feito alterando a distância entre as lentes, o que provoca uma mudança na distância focal do conjunto.

Considere que, nessas máquinas, a distância do filme ao conjunto de lentes seja constante. Observe a seguir, portanto, que, para objetos distantes, a distância focal deve ser grande, e, para objetos próximos, a distância focal deve ser menor.

$$\frac{1}{f}\uparrow = \frac{1}{D_O}\uparrow + \frac{1}{D_I} \leftarrow \text{Constante positiva}$$

A figura a seguir mostra a formação da imagem numa câmera fotográfica simples.

Na parte frontal de uma câmera, existem dois dispositivos – o diafragma e o obturador –, cujas funções são, respectivamente, controlar a quantidade de luz que entra na máquina e abrir e fechar a câmera para permitir a execução da fotografia. Ou seja, a máquina fotográfica é uma câmara escura que projeta na parede oposta (filme) a imagem formada pela luz que entra pelo orifício (diafragma).

OLHO HUMANO

O olho é, sem dúvida, o instrumento óptico mais importante para o ser humano. É um órgão complexo, composto de diversas estruturas, dentre as quais algumas interessam a esse ramo da Física. A figura a seguir mostra um olho humano e os elementos físicos mais relevantes para o nosso estudo.

Em um olho humano normal, os raios luminosos entram pela pupila, atravessam a córnea, o cristalino, a parte central do olho e se encontram na retina – região fotossensível –, sobre a qual a imagem, para uma visão perfeita, deve ser formada. Ou seja, no olho, a imagem é projetada sobre a retina, sendo real e invertida. O funcionamento do olho é semelhante ao de uma máquina fotográfica. A pálpebra, equivalente ao obturador, abre e fecha para permitir a entrada de luz.

A córnea, uma película curva, transparente e localizada na parte anterior do olho, é responsável pela primeira e maior parte da refração da luz que vem do exterior.

A função da pupila – canal existente na íris – é controlar a quantidade de luz que chega ao cristalino, de modo a permitir uma visualização adequada dos objetos. Em relação a uma máquina fotográfica, ela é equivalente ao diafragma.

Se a luminosidade exterior é elevada, a pupila se contrai, de modo a minimizar a entrada de luz. Ao contrário, com baixa luminosidade no ambiente, a pupila se dilata, de forma que uma quantidade maior de luz entre no olho para formar a imagem. As figuras a seguir mostram um olho com a pupila dilatada e outro com a pupila contraída.

O cristalino é uma lente biconvexa convergente, maleável e responsável pela focalização final das imagens sobre a retina. As bordas do cristalino são envolvidas pelos músculos ciliares, cuja função é a de comprimir o cristalino, de modo a alterar a sua curvatura e, consequentemente, a sua distância focal. Veja a seguir um cristalino sem compressão – com músculos ciliares relaxados (1) –, e outro com um certo esforço de compressão dos músculos (2).

A retina – película localizada na parte posterior do globo ocular – é formada por dois tipos básicos de células sensíveis à luz: os **cones** (responsáveis pela percepção de cores) e os **bastonetes** (que não distinguem as cores, mas são os responsáveis pela percepção dos níveis de intensidade da luz emitida pelos objetos). Quando a imagem é projetada na retina, o nervo óptico, acoplado a ela, transmite a informação visual ao cérebro.

OLHO HUMANO NORMAL

O olho normal é aquele capaz de formar imagens nítidas para objetos próximos, aproximadamente a 25 cm do olho, ou afastados, no infinito, em relação ao observador. Em ambos os casos, a imagem deve ser formada sobre a retina – condição necessária para uma visão perfeita. Dessa forma, a distância (D_I) da imagem ao cristalino deve ser sempre a mesma, qualquer que seja a distância do objeto ao olho. Ou seja, D_I depende apenas do tamanho do olho do observador. Em média, essa distância é de 2,5 cm.

A imagem projetada sobre a retina é real ($D_I > 0$). Qualquer que seja a distância do objeto ao olho, a equação de Gauss deve ser respeitada. Assim, a distância focal (f) e a vergência (V) do cristalino variam de acordo com a mudança da distância do objeto ao olho (D_O). Lembre-se de que a vergência (V) é inversamente proporcional à distância focal (f), $V = 1/f$. Veja, na equação de Gauss a seguir, que a distância focal do cristalino varia conforme a distância do objeto ao olho, que também varia.

$$\frac{1}{f}\uparrow = \frac{1}{D_O}\uparrow + \frac{1}{D_I} \leftarrow \text{Constante positiva}$$

Dessa forma, o cristalino apresenta uma distância focal para cada posição do objeto. A alteração provocada pelo músculo ciliar sobre o cristalino é chamada de **acomodação visual**. Observe, na tabela que se segue, as alterações que ocorrem nas grandezas com a mudança da posição do objeto.

	O objeto em relação ao olho	
	Aproxima	**Afasta**
D_O	Diminui	Aumenta
f	Diminui	Aumenta
V	Aumenta	Diminui
Cristalino	Mais convergente (mais curvo)	Menos convergente (menos curvo)

Se o objeto está no "infinito" (muito afastado do olho), a distância focal é máxima, e o músculo ciliar está totalmente relaxado (sentimos o menor esforço visual para enxergar um objeto). Nesse caso, o foco do cristalino está sobre a retina. À medida que o objeto se aproxima do olho, o esforço muscular sobre o cristalino aumenta, comprimindo-o. Assim, existe uma posição do objeto em relação ao olho, próxima a este, na qual o músculo ciliar exerce a sua maior compressão. Se o objeto for aproximado do olho além desse ponto, o olho perde a capacidade de focalizá-lo. Nessa situação, o cristalino apresenta a menor distância focal possível e, consequentemente, a maior vergência.

O ponto mais distante do olho, em que este é capaz de formar uma imagem nítida, é chamado de **ponto remoto** (PR), e sua distância ao olho é conhecida como distância **máxima** de visão perfeita. Numa pessoa de visão normal, o PR tende ao infinito. O ponto mais próximo ao olho, para o qual este forma uma imagem nítida, é conhecido como **ponto próximo** (PP). A sua distância ao olho é chamada de distância **mínima** de visão perfeita. Essa distância varia com a idade e de uma pessoa a outra. Nos adultos, em média, o ponto próximo (PP) está a 25 cm do olho. Assim, o olho de uma pessoa de visão normal consegue formar imagens nítidas de objetos colocados no intervalo entre o infinito (PR) e 25 cm do olho dessa forma (PP). Esse intervalo é a **zona de acomodação**.

Vamos determinar a vergência (V) do cristalino para os extremos da zona de acomodação. Considere que o tamanho do globo ocular seja 2,5 cm, ou seja, 0,025 m. Como a imagem se forma sobre a retina, $D_I = 0{,}025$ m. Considere, ainda, que o ponto próximo (PP) esteja a 25 cm ou 0,25 m do olho.

Objeto no ponto remoto (PR): $D_O \to \infty$ e $(1/D_O) \to 0$

$V = 1/f = (1/D_O) + (1/D_I) = 0 + (1/0{,}025)$

$V = 40$ di = 40 "graus"

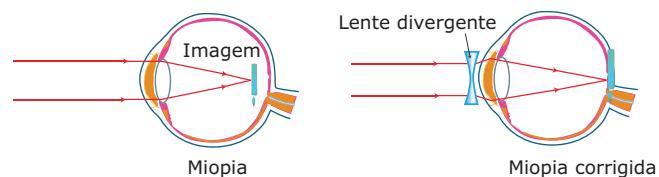
Objeto no ponto próximo (PP): $D_O = 25$ cm = 0,25 m

$V = 1/f = (1/D_O) + (1/D_I) = (1/0{,}25) + (1/0{,}025)$

$V = 44$ di = 44 "graus"

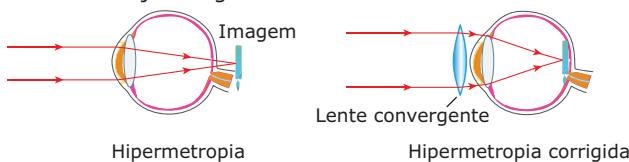
A variação da vergência entre os valores anteriores ($\Delta V = 4$ di) é chamada de **amplitude de acomodação**. Assim, o olho humano normal varia a sua vergência em 4 "graus" ao mudar a focalização de um objeto que estava muito longe para outro que estava muito perto dele.

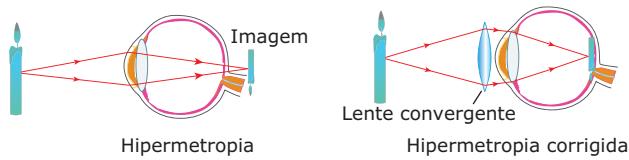
DEFEITOS DE VISÃO

Todo órgão ou sistema do corpo humano é susceptível a apresentar anomalias, e o olho não foge à regra. As causas para os defeitos de visão são várias, mas vamos citar apenas três. Uma delas é a deformidade do globo ocular, que pode ser alongado ou encurtado além do que deveria. Outra causa é a curvatura da córnea além ou aquém do normal. E, por último, o elevado ou baixo índice de refração das estruturas que formam o olho, particularmente da córnea e do cristalino. Assim, o sistema ocular é mais ou menos convergente do que o necessário. Quaisquer dessas causas fazem com que a imagem se forme antes ou depois da retina, respectivamente. Os defeitos de visão mais comuns, que podem ser minimizados com o uso de lentes esféricas, são: miopia, hipermetropia e presbiopia ("vista cansada").

Duas importantes posições do objeto, em relação ao olho, são o Ponto Próximo (PP) e o Ponto Remoto (PR). Elas correspondem à menor e à maior distância a que um objeto pode se encontrar em relação ao olho, respectivamente, para uma visão perfeita da imagem do objeto.

MIOPIA

O olho míope, por qualquer das causas citadas, é **mais convergente** do que deveria, apresentando uma distância focal pequena em relação aos olhos normais. Assim, os raios luminosos que entram no olho convergem muito e a imagem se forma antes da retina; logo, não apresenta nitidez suficiente. Nesse caso, a imagem deve ser afastada do cristalino para melhorar a sua visualização. Isso é conseguido, sem correção, aproximando os objetos do olho. Logo, a pessoa com miopia enxerga muito bem os objetos próximos ao seu olho. Ou seja, o ponto próximo (PP) de um olho míope encontra-se mais perto deste do que o ponto próximo de um olho normal.

O problema do míope está no ponto remoto (PR), que é mais perto do olho deste do que deveria ser. Ou seja, o míope enxerga muito mal os objetos que estão afastados dele. Para um objeto no "infinito", por mais que o cristalino do míope esteja relaxado (distância focal grande), a imagem se forma antes da retina.

A correção visual da miopia, por meio de óculos e para objetos afastados, é feita com lentes divergentes, uma vez que o olho míope é muito convergente. A miopia é o defeito visual mais comum na população. Veja a seguir.

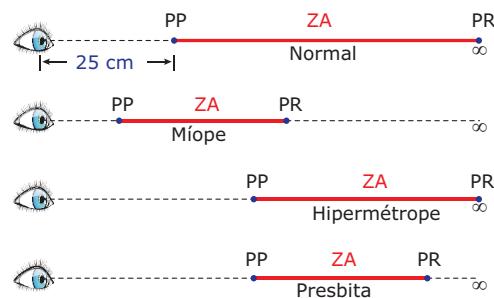
Miopia | Miopia corrigida

Hipermetropia

O olho hipermétrope, por qualquer que seja a causa, é **menos convergente** do que o necessário e, assim, a sua distância focal é grande em relação a dos olhos normais. Dessa forma, os raios luminosos que entram no olho convergem pouco. Consequentemente, a imagem se forma atrás (depois) da retina e não apresenta nitidez normal. Portanto, para melhorar a visualização do objeto, é necessário aproximar a imagem do cristalino.

Se o objeto está muito afastado do hipermétrope (D_O é grande) e o cristalino deste está totalmente relaxado, a imagem do objeto se forma atrás da retina (cristalino converge pouco). Para resolver essa situação, o hipermétrope pode, simplesmente, acomodar a sua visão (forçando os músculos ciliares), de modo a diminuir a distância focal de seu olho e, consequentemente, trazer a imagem para a retina. Nas situações em que essa adaptação oferece desconforto visual para o paciente, o médico pode receitar a ele óculos com lentes convergentes para a visualização de objetos distantes. Veja a seguir.

Hipermetropia Hipermetropia corrigida

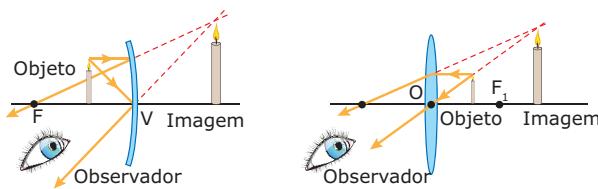
O grande problema do hipermétrope, entretanto, está na visualização de objetos próximos ao olho. Se D_O é pequeno e o olho converge pouco a luz que chega a ele (distância focal grande), a imagem do objeto se forma atrás da retina por maior que seja o esforço de acomodação do músculo ciliar. Ou seja, o hipermétrope não enxerga bem objetos próximos a ele, pois seu ponto próximo (PP) se encontra mais distante dele do que o ponto próximo de uma pessoa de visão perfeita. Sem correção visual, o hipermétrope costuma afastar o objeto do seu olho. Assim, o hipermétrope tem de contar com a correção de lentes convergentes para a visualização de objetos próximos ao seu olho. Veja a seguir.

Hipermetropia Hipermetropia corrigida

O ponto remoto (PR) do hipermétrope, geralmente, continua no infinito.

Presbiopia

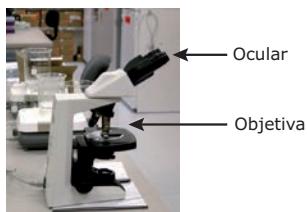
A presbiopia, ou "vista cansada", na análise da fisiologia humana, não é considerada um "defeito de visão". É uma situação natural e espontânea que ocorre em consequência do envelhecimento e que atinge a maioria das pessoas com idade acima dos quarenta anos. No olho da pessoa com presbiopia, o músculo ciliar, responsável pela focalização das imagens sobre a retina, vai perdendo a capacidade de comprimir o cristalino da forma necessária. Assim, quem possui presbiopia perde, principalmente, a capacidade de enxergar objetos próximos ao olho. Nesse caso, o olho da pessoa com presbiopia tem iguais funcionamento e correção que o olho da pessoa com hipermetropia – lentes convergentes. Em alguns casos, além de perder elasticidade, o músculo ciliar se deforma. Nesse caso, o cristalino fica impedido de relaxar da mesma forma que antes e passa a não focalizar objetos muito distantes. Para pessoas com tais características, são necessários dois pares de óculos, um para "perto" (com lentes convergentes) e outro para "longe" (com lentes divergentes) ou um par de óculos "bifocal ou multifocal". Assim, o olho com presbiopia pode não ter o ponto remoto (PR) no infinito, mas seu ponto próximo (PP), seguramente, está mais distante do olho do que o de um olho normal.

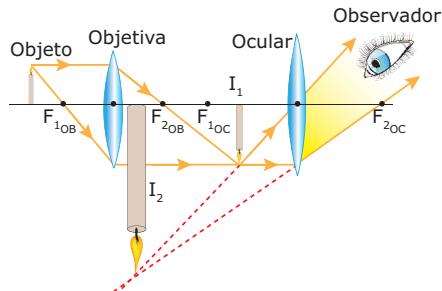
Veja a seguir as posições dos pontos remoto (PR) e próximo (PP) e a zona de acomodação ZA (em vermelho) para os diversos tipos de pessoas, sem a correção visual. O ponto próximo, para um olho normal, encontra-se, em média, a 25 cm do observador.

Vale a pena destacar que a miopia, a hipermetropia e a presbiopia podem ser tratadas cirurgicamente, geralmente, por meio de pequenas incisões radiais na córnea do paciente de modo a alterar a sua curvatura e, por conseguinte, a distância focal do conjunto ocular.

Outro defeito de visão bastante comum é o astigmatismo. Ele ocorre devido a uma curvatura irregular da córnea ou do cristalino, que perde a esfericidade, ficando mais ou menos convergente em algumas regiões das suas faces. Isso faz com que múltiplas imagens (do mesmo objeto) se formem sobre a retina, o que provoca a sensação de uma imagem "borrada". Tal defeito é corrigido com lentes cilíndricas, não discutidas em nossa Coleção. Existem outros defeitos de visão que as lentes não corrigem e, por isso, não foram citados.

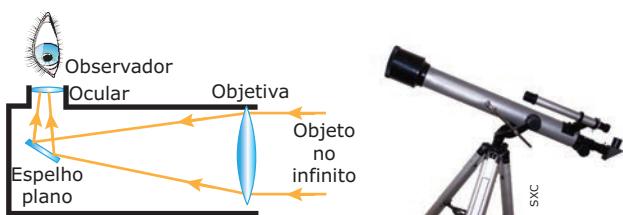
Veja um resumo dos defeitos de visão e suas respectivas correções:

Doença	Problema	Correção
Miopia	Imagem se forma antes da retina	Lentes divergentes
Hipermetropia	Imagem se forma atrás da retina	Lentes convergentes
Presbiopia	Imagem se forma atrás da retina	Lentes convergentes
Astigmatismo	Esfericidade irregular do globo ocular	Lentes cilíndricas

MICROSCÓPIO SIMPLES (OU LUPA) E ESPELHO DE AUMENTO

A lupa e o espelho de aumento você já conhece. A lupa é uma lente convergente utilizada para observar um objeto colocado entre ela e seu foco. O espelho de aumento é um espelho côncavo utilizado para observar um objeto que deve ser posicionado entre o espelho e seu foco. Nos dois casos, as imagens formadas são virtuais e maiores que o objeto. A imagem formada pela lente não apresenta inversão vertical e nem lateral, o que permite ler um texto com letras muito pequenas ou observar, com mais detalhes, as partes de uma flor ou de um inseto, por exemplo. A imagem formada pelo espelho de aumento, usado em maquiagem, por exemplo, é direta, mas apresenta inversão lateral. Quando você se observa num espelho de aumento, a orelha direita parece ser a orelha esquerda.

A ampliação linear (A) desses dispositivos aumenta com a redução da distância focal. No entanto, diminuir muito a distância focal significa diminuir bastante os raios de curvatura do espelho ou das faces da lente. Isso faz com que esses instrumentos não mais obedeçam às condições de Gauss e comecem a gerar imagens distorcidas. Por esse motivo, não se consegue grandes ampliações com tais aparelhos.

MICROSCÓPIO OU MICROSCÓPIO COMPOSTO

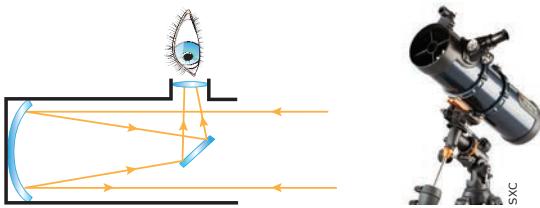
O microscópio é um equipamento projetado para fornecer grande ampliação para pequenos objetos. Ele é composto de duas lentes convergentes: a objetiva (que fica próxima do objeto a ser ampliado) e a ocular (que fica perto do olho do observador). A figura a seguir mostra um microscópio muito usado em laboratórios escolares.

O objeto a ser observado em um microscópio deve ser colocado a uma distância da objetiva que seja maior que a distância focal dela, mas próximo ao foco. A objetiva forma uma imagem real (I_1), invertida e ampliada do objeto. Essa imagem está posicionada entre a ocular e o foco desta. Assim, a ocular funciona como uma lupa e forma, a partir da primeira imagem, uma segunda imagem (I_2), que é virtual, maior que a primeira imagem e direta em relação a esta, mas invertida em relação ao objeto. A figura a seguir mostra a formação da imagem em um microscópio composto.

A ampliação fornecida pelo microscópio é o produto das ampliações fornecidas por cada lente individualmente. Se a objetiva produz um aumento de 80 vezes, e a ocular, de 20 vezes, a ampliação total do microscópio é de 1 600 vezes. Num microscópio óptico, conseguimos ampliar um objeto até 2 000 vezes, o que nos permite observar, com nitidez, a maioria das estruturas vivas da natureza. Para ampliações maiores que essa, usamos um microscópio eletrônico, que trabalha com um feixe de elétrons, e não com feixes de luz. O microscópio eletrônico nos permite ampliações próximas de 1 milhão de vezes e com ele podemos observar a estrutura de um vírus, por exemplo. O funcionamento do microscópio eletrônico foge aos objetivos de nosso estudo.

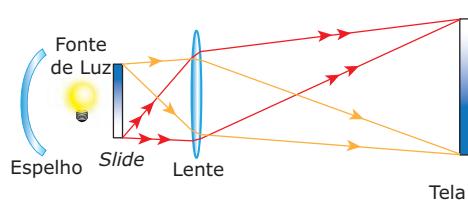
TELESCÓPIOS

Os telescópios são instrumentos utilizados para a observação de objetos muito distantes da Terra, como planetas e estrelas. A imagem formada por esses instrumentos não é ampliada, mas se coloca bem perto do observador. Por esse motivo, a imagem fornecida pelo telescópio é maior do que a imagem do objeto que seria vista sem o instrumento. Os telescópios podem ser classificados em refratores ou refletores.

Telescópio refrator ou luneta astronômica

A luneta astronômica foi aperfeiçoada por Galileu, em 1609, e este a utilizou para observar a Lua, os planetas do Sistema Solar e algumas luas de Júpiter. Por meio da observação dessas luas, Galileu pôde constatar que a velocidade da luz era muito grande, mas não infinita. A luneta possui duas lentes: a objetiva (que recebe a luz do astro) e a ocular (por onde o operador vai observar a imagem do astro). Em algumas lunetas, a luz refratada pela objetiva vai de encontro à ocular por meio da reflexão num pequeno espelho plano. A ocular, que recebe a luz refletida, forma uma imagem final virtual, invertida em relação ao astro e bem próxima do observador. O esquema simplificado de funcionamento e uma foto da luneta astronômica são mostrados a seguir.

O binóculo e o periscópio, citados como aplicações da reflexão total, formam imagens da mesma maneira que um telescópio refrator.

A luneta, como visto anteriormente, não se aplica a observações de astros muito distantes, como as estrelas, por exemplo. A luz emitida por elas chega com baixa intensidade à Terra e, portanto, para formar imagens de boa qualidade, seria necessário que a objetiva fosse muito grande. Consequentemente, uma lente desse tipo seria muito espessa. Assim, essa lente não seria delgada, e as condições de Gauss não se aplicariam a ela. Devido a essa limitação, Newton, em 1668, desenvolveu o telescópio refletor, discutido a seguir.

Telescópio refletor ou telescópio

O telescópio refletor, ou simplesmente telescópio, usa um grande espelho parabólico côncavo no lugar da lente objetiva da luneta. Os telescópios do Monte Palomar (Califórnia), os Keck (Havaí) e o do LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica, Itajubá-MG) têm espelhos com diâmetros, respectivamente, de 5,0 m, 10 m e 1,6 m. Quanto maior o tamanho do espelho, mais luz ele consegue coletar e, consequentemente, poderá produzir imagens de objetos muito distantes. O mais famoso telescópio refletor da atualidade é o Hubble (em órbita da Terra, numa altitude de 589 km), que tem um espelho de 2,4 m de diâmetro.

O funcionamento, simplificado, de um telescópio refletor se dá da seguinte maneira: a luz emitida por uma estrela, por exemplo, incide no grande espelho parabólico do telescópio (que faz a função da lente objetiva no telescópio refrator) e é refletida por ele. A luz refletida pelo espelho parabólico vai de encontro a um segundo espelho, que pode ser plano ou convexo, e é novamente refletida, agora em direção a uma lente convergente – a ocular –, por meio da qual o observador vai analisar a imagem final formada pelo aparelho. Atualmente, as imagens da ocular são enviadas para um sistema computadorizado que fornece a imagem nas telas de um computador ou as envia para qualquer lugar do mundo. A figura a seguir mostra o esquema do telescópio de Newton. Veja também a fotografia de um telescópio refletor.

PROJETORES

Qualquer tipo de projetor produz uma imagem, geralmente maior que o objeto, que deve ser vista em uma tela. Assim, a imagem formada deve ser real e invertida, tanto na vertical quanto na horizontal. Para o seu funcionamento básico, basta uma única lente convergente, uma fonte de luz e o objeto a ser projetado. Para se obter uma imagem ampliada, o objeto deve estar próximo ao foco da lente, numa distância um pouco maior que a distância focal dela. Existem vários tipos de projetores, com características particulares e com diversos acessórios que servem para melhorar a qualidade da imagem projetada. O esquema a seguir mostra, de forma simplificada, o funcionamento de um projetor de *slides* (o objeto). A fonte de luz fica no foco do espelho de modo a proporcionar uma maior luminosidade no *slide*. Observe que a imagem projetada é invertida.

Todos os instrumentos artificiais citados anteriormente possuem lentes muito potentes (grande vergência) e capazes de formar imagens de grande qualidade. Nessas lentes, as aberrações esférica e cromática são pronunciadas. Dessa forma, todos os instrumentos são equipados com um ou mais conjuntos de lentes, formados por vários tipos de lentes associadas, em vez de uma única lente. Esses conjuntos e uma série de outros acessórios têm o objetivo de eliminar, dentro do possível, o efeito nocivo das aberrações.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um médico oftalmologista receita, para um paciente que possui miopia num dos olhos e hipermetropia no outro, lentes com as vergências, exclusivas, de +3,0 di (olho direito) e −2,0 di (olho esquerdo).

A) Associar cada olho com o respectivo defeito visual.

B) Determinar a distância do ponto remoto (PR) até o paciente para o olho com miopia.

C) Determinar a distância do ponto próximo (PP) até o paciente para o olho com hipermetropia.

Resolução:

A) As pessoas com hipermetropia devem usar lentes convergentes e as pessoas com miopia devem usar lentes divergentes. As distâncias focais e vergências, das lentes convergentes e divergentes são, respectivamente, positiva e negativa. Assim, o olho direito (+3,0 di) apresenta hipermetropia, e o esquerdo (−2,0 di) sofre de miopia.

B) No olho míope, o ponto remoto fica próximo do olho e, por esse motivo, o míope não focaliza objetos distantes.

Dessa forma, a lente a ser usada deve ser capaz de formar, para objetos no "infinito", imagens no ponto remoto do míope, ou seja, PR = $-D_I$ (a imagem é virtual, pois a lente é divergente). Essa imagem servirá de objeto para o olho do paciente. Como $D_O \to \infty$, $(1/D_O) \to 0$. Assim, temos:

$$V = \frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \Rightarrow -2 = 0 + \frac{1}{D_I} \Rightarrow D_I = -0{,}50 \text{ m}$$

Dessa forma, PR = $-D_I$ = 50 cm. Ou seja, o ponto remoto fica a 50 cm do olho esquerdo. Assim, esse olho, sem os óculos, não enxerga objetos mais distantes que 50 cm.

Curiosidade: Se você é míope, procure perceber a maior distância que consegue enxergar sem óculos. Com essa medida e a solução anterior, você pode descobrir o "grau" da sua lente.

C) No olho hipermétrope, o ponto próximo está mais distante do olho em relação ao olho normal e, por esse motivo, o hipermétrope não focaliza objetos próximos a ele. Dessa forma, a lente a ser usada por ele deve ser capaz de formar, para objetos a 25 cm do olho (distância mínima de visão perfeita), imagens no ponto próximo do hipermétrope. Assim, D_O = 25 cm = 0,25 m e PP = $-D_I$ (a imagem é virtual, pois deve ficar mais distante do olho e, por isso, do mesmo lado que o objeto em relação à lente). Essa imagem servirá de objeto para o olho do paciente. Assim, temos:

$$V = \frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \Rightarrow 3 = \frac{1}{0{,}25} + \frac{1}{D_I} \Rightarrow D_I = -1{,}0 \text{ m}$$

Dessa forma, PP = $-D_I$ = 1,0 m. Ou seja, o ponto próximo fica a 1,0 m do olho direito. Assim, esse olho, sem os óculos, não enxerga objetos mais próximos que 100 cm.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (ITA-SP) Dois estudantes se propõem a construir, cada um deles, uma câmara fotográfica simples, usando uma lente convergente como objetiva e colocando-a numa caixa fechada, de modo que o filme esteja no plano focal da lente. O estudante A utilizou uma lente de distância focal igual a 4,0 cm, e o estudante B, uma lente de distância focal igual a 1,0 m. Ambos foram testar suas câmaras fotografando um objeto situado a 1,0 m de distância das respectivas objetivas. Desprezando-se todos os outros efeitos (tais como aberrações das lentes), o resultado da experiência foi

I. que a foto do estudante A estava mais "em foco" que a do estudante B.

II. que ambas estavam igualmente "em foco".

III. que as imagens sempre estavam entre o filme e a lente.

Nesse caso, você concorda que

A) apenas a afirmativa II é verdadeira.
B) somente I e III são verdadeiras.
C) somente III é verdadeira.
D) somente a afirmativa I é verdadeira.
E) não é possível obter uma fotografia em tais condições.

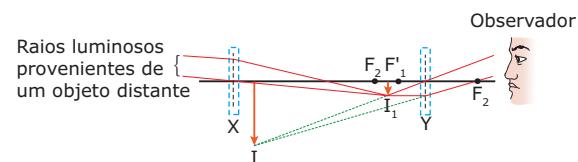
02. (UFU-MG) Assinale a alternativa **FALSA**.

A) O cristalino do olho de uma pessoa de visão normal age como uma lente convergente que produz uma imagem real, invertida e aumentada quando a pessoa observa um objeto distante.

B) Uma pessoa com visão normal, à medida que se aproxima de um objeto, tem o raio de curvatura de seu cristalino diminuído para que ela continue focalizando o objeto.

C) A variação do diâmetro da pupila tem como objetivo controlar a entrada de luz no olho.

D) Para a correção da hipermetropia, é necessária a utilização de lentes convergentes.

03. (Cesgranrio) Dispondo de três lentes, L_1, L_2 e L_3, um estudante deseja construir um microscópio composto de apenas duas lentes (uma objetiva e a outra ocular).

As características das três lentes disponíveis são:

Lente	Tipo	Distância focal
L_1	Convergente	+2,0 cm
L_2	Convergente	+10,0 cm
L_3	Divergente	–5,0 cm

Escolha, entre as alternativas a seguir, a objetiva e a ocular que devem ser utilizadas.

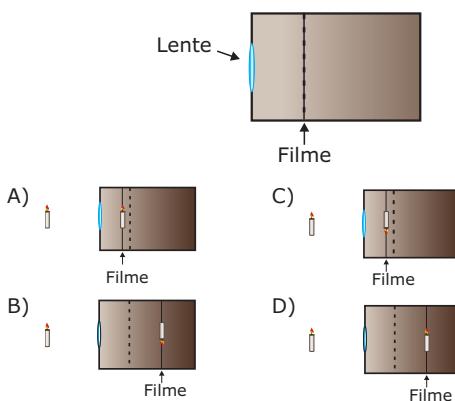
	Objetiva	Ocular
A)	L_1	L_2
B)	L_1	L_3
C)	L_2	L_1
D)	L_2	L_3
E)	L_3	L_1

04. (UFRN) O telescópio refrator é um sistema óptico constituído, basicamente, de duas lentes: a objetiva, cuja função é formar uma imagem real e reduzida do objeto em observação, I_1, nas proximidades do foco, F'_1, e a ocular, que usa essa imagem como objeto, nas proximidades de seu foco, F_2, para formar uma imagem virtual e ampliada, I_2. Esta última é a imagem do objeto vista pelo observador. A figura a seguir representa um desses telescópios, no qual as duas lentes se acham localizadas nas posições correspondentes aos retângulos X e Y.

Observador
Raios luminosos provenientes de um objeto distante
F_2 F'_1 I_1 X Y F_2 I_2

As lentes objetiva X e ocular Y que **MELHOR** se adaptam a esse telescópio devem ser

A) ambas convergentes.
B) ambas divergentes.
C) respectivamente convergente e divergente.
D) respectivamente divergente e convergente.

05. (UFRJ) Um projetor de diapositivos (*slides*) possui um sistema de lentes cuja distância focal é ajustável. Um diapositivo é colocado na vertical, a 125 cm de distância de uma parede também vertical. O eixo principal do sistema de lentes é horizontal. Ajusta-se a distância focal do sistema e obtém-se, projetada na parede, uma imagem nítida do diapositivo, com suas dimensões lineares ampliadas 24 vezes.

A) O sistema de lentes do projetor é convergente ou divergente? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

B) Para que valor foi ajustada a distância focal do sistema?

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFMG) Rafael, fotógrafo lambe-lambe, possui uma câmara fotográfica que consiste em uma caixa com um orifício, em que é colocada uma lente. Dentro da caixa, há um filme fotográfico, posicionado a uma distância ajustável em relação à lente.

Essa câmara está representada, esquematicamente, na figura que se segue. Para produzir a imagem nítida de um objeto muito distante, o filme deve ser colocado na posição indicada pela linha tracejada. No entanto, Rafael deseja fotografar uma vela que está próxima a essa câmara. Para obter uma imagem nítida, ele, então, move o filme em relação à posição descrita.

Assinale a alternativa cujo diagrama **MELHOR** representa a posição do filme e a imagem da vela que é projetada nele.

02. (FCMMG) Um aluno quer substituir a lente de uma máquina fotográfica simples. Ele consegue as seguintes lentes de óculos usadas:

H_1 = lente com pequena distância focal de pessoa com hipermetropia.

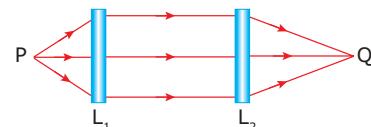
H_2 = lente com grande distância focal de pessoa com hipermetropia.

M_1 = lente com pequena distância focal de pessoa com miopia.

M_2 = lente com grande distância focal de pessoa com miopia.

A lente escolhida para a substituição seria

A) H_1. B) H_2. C) M_1. D) M_2.

03. (Fatec-SP) Na figura, o homem A é visto pelo homem B, representado pelo olho em corte. À medida que A se aproxima de B, e supondo que o olho é normal,

A) a curvatura do cristalino aumenta para aumentar a distância focal.

B) a curvatura do cristalino diminui para diminuir a distância focal.

C) a curvatura do cristalino não se altera porque o olho é normal.

D) a curvatura do cristalino aumenta para diminuir a distância focal.

E) a curvatura do cristalino diminui para aumentar a distância focal.

04. (PUC-SP–2010) O olho humano pode ser entendido como um sistema óptico composto basicamente de duas lentes – córnea (A) e cristalino (B). Ambas devem ser transparentes e possuir superfícies lisas e regulares para permitirem a formação de imagens nítidas. Podemos classificar as lentes naturais de nossos olhos, A e B, respectivamente, como sendo

A) convergente e convergente.

B) convergente e divergente.

C) divergente e divergente.

D) divergente e convergente.

E) divergente e plana.

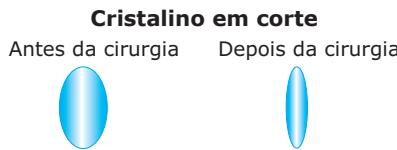
05. (UFMG) Dois defeitos visuais bastante comuns no ser humano são a miopia e a hipermetropia. Num olho míope, a imagem é formada antes da retina enquanto, num olho hipermétrope, a imagem é formada depois da retina. Na figura, estão representados três raios de luz emergindo de uma fonte localizada em P, passando pelas lentes delgadas L_1 e L_2 e atingindo Q.

Com relação às lentes L_1 e L_2, a afirmativa **CORRETA** é:

A) L_1 e L_2 podem corrigir hipermetropia.

B) L_1 e L_2 podem corrigir miopia.

C) L_1 pode corrigir hipermetropia, e L_2, miopia.

D) L_1 pode corrigir miopia, e L_2, hipermetropia.

06. (FUVEST-SP) Uma pessoa idosa que tem hipermetropia e presbiopia foi a um oculista que lhe receitou dois pares de óculos, um para que enxergasse bem os objetos distantes e outro para que pudesse ler um livro a uma distância confortável de sua vista.

- Hipermetropia: a imagem de um objeto distante se forma atrás da retina.
- Presbiopia: o cristalino perde, por envelhecimento, a capacidade de acomodação, e objetos próximos não são vistos com nitidez.
- Dioptria: a convergência de uma lente, medida em dioptrias, é o inverso da distância focal (em metros) da lente.

Considerando que receitas fornecidas por oculistas utilizam o sinal mais (+) para lentes convergentes e menos (–) para divergentes, a receita do oculista para um dos olhos dessa pessoa idosa poderia ser

A) para longe: –1,5 dioptrias; para perto: +4,5 dioptrias.
B) para longe: –1,5 dioptrias; para perto: –4,5 dioptrias.
C) para longe: +4,5 dioptrias; para perto: +1,5 dioptrias.
D) para longe: +1,5 dioptrias; para perto: –4,5 dioptrias.
E) para longe: +1,5 dioptrias; para perto: +4,5 dioptrias.

07. (FCMMG) Numa das operações a *laser* para diminuir os problemas da visão, o médico afinou o cristalino do olho de um paciente, como mostram as figuras a seguir.

Cristalino em corte

Antes da cirurgia

Depois da cirurgia

Com relação a essa cirurgia, pode-se afirmar que

A) a pessoa sofria de hipermetropia.
B) o índice de refração do cristalino diminuiu.
C) a distância focal do cristalino aumentou.
D) a imagem dos objetos vistos pela pessoa passou a se formar a uma distância menor.

08. (PUC RS) Considere as afirmações a seguir, que se referem ao globo ocular humano.

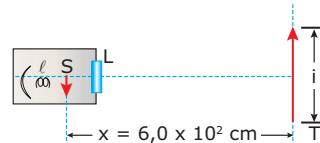
I. O olho emétrope, ou normal, deve ser capaz de focalizar na retina objetos localizados no infinito, ou seja, a grandes distâncias, sem acomodação do cristalino.
II. O olho emétrope deve ser capaz de focalizar na retina, sem qualquer esforço de acomodação, objetos que se encontram na distância mínima de visão distinta, que é de 25 cm.
III. Na miopia, os raios de luz paralelos que incidem no globo ocular são focalizados antes da retina, e a sua correção é feita com lentes divergentes.
IV. Na hipermetropia, os raios de luz paralelos que incidem no globo ocular são focalizados depois da retina, e sua correção é feita com lentes convergentes.

Analisando as afirmativas, conclui-se que somente estão **CORRETAS**

A) I e II.
B) II e III.
C) III e IV.
D) I, II e III.
E) I, III e IV.

09. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche **CORRETAMENTE** as lacunas do seguinte texto:

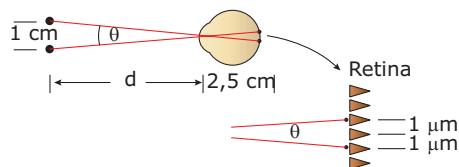
Uma pessoa vê nitidamente um objeto quando a imagem desse objeto se forma sobre a retina.

Em pessoas míopes, a imagem se forma à frente da retina. Em pessoas hipermétropes, os raios luminosos são interceptados pela retina antes de formarem a imagem (diz-se, então, que a imagem se forma atrás da retina).

Pessoas míopes devem usar óculos com lentes ________________, e pessoas hipermétropes devem usar óculos com lentes ________________.

A) convergentes – biconvexas
B) convergentes – divergentes
C) plano-convexas – divergentes
D) divergentes – bicôncavas
E) divergentes – convergentes

10. (VUNESP) Assinale a alternativa **CORRETA**.

A) Quando alguém se vê diante de um espelho plano, a imagem que observa é real e direita.
B) A imagem formada sobre o filme, nas máquinas fotográficas, é virtual e invertida.
C) A imagem que se vê quando se usa uma lente convergente como "lente de aumento" (lupa) é virtual e direita.
D) A imagem projetada sobre uma tela por um projetor de *slides* é virtual e direita.
E) A imagem de uma vela formada na retina de um olho humano é virtual e invertida.

11. (UFF-RJ) A figura representa o esquema simplificado de um projetor de *slides*, em que S é um *slide*, ℓ o dispositivo que o ilumina, L uma lente e T a tela de projeção.

Sabe-se que a distância (x) entre o *slide* e a tela é 6,0 x 10^2 cm e que a imagem projetada na tela (i) é ampliada 59 vezes.

Nessa situação, conclui-se que

A) a lente é divergente e sua distância focal é, aproximadamente, 5,9 x 10^2 cm.
B) a lente é convergente e sua distância focal é, aproximadamente, 59 cm.
C) a lente é convergente e sua distância focal é, aproximadamente, 5,9 x 10^2 cm.
D) a lente é convergente e sua distância focal é, aproximadamente, 9,8 cm.
E) a lente é divergente e sua distância focal é, aproximadamente, 9,8 cm.

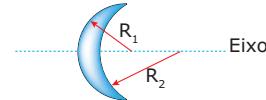
FÍSICA

12. (UFLA-MG) O funcionamento de uma máquina fotográfica é semelhante ao do olho humano. Quando o olho humano está fixado em um objeto distante, o músculo ciliar relaxa e o sistema córnea-cristalino atinge sua máxima distância focal, que corresponde à distância da córnea à retina. Quando o objeto está próximo ao olho humano, o músculo ciliar se contrai e aumenta a curvatura do cristalino, diminuindo, assim, a distância focal até que o objeto seja focalizado corretamente na retina, sendo esse processo chamado de acomodação. Considerando a máxima distância focal 2,5 cm, pode-se afirmar que a variação da distância focal Δf do sistema córneo-cristalino do olho, para manter em foco um objeto que é deslocado do infinito até um ponto próximo padrão de 25 cm, é

A) +2,5/11 cm.
B) 2,27 cm.
C) −2,5/11 cm.
D) −2,27 cm.
E) 0.

13. (UFJF-MG) De acordo com especialistas, para que o olho humano possa distinguir dois objetos puntiformes situados próximos um do outro, é preciso que a imagem de cada um deles se forme na retina em cones separados por pelo menos um cone, como ilustra a figura seguinte. Admita que a distância entre dois cones adjacentes seja igual a 1 μm (= 10^{-6} m) e a distância entre a córnea e a retina seja de 2,5 cm. De acordo com isso, qual é a maior distância d em que é possível distinguir objetos puntiformes separados por 1 cm?

A) 25 m
B) 125 m
C) 10 cm
D) 30 m
E) 2,5 m

14. (UFRN) A miopia é um defeito da visão originado por excessiva curvatura da córnea. Na fantástica estrutura que compõe o olho humano, a córnea representa um elemento fundamental no processo de formação de imagem, sendo uma espécie de lente delgada convexo-côncava que – admitiremos – satisfaz a equação dos fabricantes de lentes apresentada a seguir.

Equação dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_L}{n_{Meio}} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Em que f: distância focal; n: índice de refração; R_1 e R_2 são raios de curvatura das faces da lente, cuja convenção de sinais é: faces convexas, raio positivo e faces côncavas, raio negativo.

O olho míope induz no cérebro a percepção de imagem sem nitidez, devido à focalização da imagem de objetos distantes dá-se antes da retina. Com o auxílio da tecnologia do raio *laser*, os médicos conseguem realizar cirurgias na córnea, corrigindo sua curvatura excessiva. Nesse caso, modificam apenas o valor do raio externo R_1. Outra possibilidade para a correção da miopia é a indicação do uso de óculos. Admita que a figura a seguir represente a córnea de um paciente cujo exame oftalmológico apresentou uma determinada miopia. Com o objetivo de corrigir a miopia, o médico pode

Representação esquemática da córnea

A) intervir cirurgicamente diminuindo o raio R_1 da córnea ou indicar óculos com lentes convergentes apropriadas.
B) intervir cirurgicamente diminuindo o raio R_1 da córnea ou indicar óculos com lentes divergentes apropriadas.
C) intervir cirurgicamente aumentando o raio R_1 da córnea ou indicar óculos com lentes convergentes apropriadas.
D) intervir cirurgicamente aumentando o raio R_1 da córnea ou indicar óculos com lentes divergentes apropriadas.

15. (UFRN) O escritor Arthur Conan Doyle, criador do mais famoso detetive do mundo, Sherlock Holmes, despertou o interesse dos leitores descrevendo as habilidades desse investigador em solucionar mistérios por meio de seu apurado senso de observação e dedução. Assuma a postura de Sherlock Holmes e analise a situação descrita a seguir.

Após uma ação criminosa numa casa de espetáculos, o assaltante deixou cair no local do crime seus óculos de grau. A descrição feita por uma testemunha levou à prisão imediata de um suspeito. Ele usava camisa vermelha, e exames revelaram ser portador de miopia em alto grau. Segundo o depoimento da testemunha, os seguintes pontos devem ser levados em conta:

- *os óculos encontrados pela polícia possuíam lentes convergentes;*
- *o criminoso usava camisa vermelha e óculos de grau que faziam seus olhos parecerem maiores;*
- *no momento em que a testemunha observou o criminoso, a iluminação ambiente era verde;*
- *a miopia é consequência de a focalização das imagens acontecer antes da retina.*

Baseando-se nas afirmações dadas, pode-se afirmar que o suspeito não é culpado, pois

A) uma pessoa míope estaria usando óculos com lentes divergentes e, em face da iluminação, a testemunha teria visto o acusado de camisa preta.
B) apesar de as lentes serem convergentes, óculos para miopia não ampliam a imagem do olho da pessoa que os está usando com as lentes apropriadas.
C) uma camisa vermelha, iluminada por luz verde, pareceria amarela; já os olhos de uma pessoa míope parecem menores se ela estiver usando lentes apropriadas.
D) apesar de a camisa vermelha do acusado parecer vermelha quando iluminada por luz verde, uma pessoa míope precisa de óculos com lentes divergentes.

16. (UFLA-MG) Uma pessoa hipermétrope pode focalizar nitidamente objetos que estejam a mais de 100 cm do olho. Para que essa pessoa leia com conforto à distância de 25 cm, ela deverá usar óculos com lentes com convergência de

A) 3 m^{-1}.
B) 2 m^{-1}.
C) 1 m^{-1}.
D) 0,5 m^{-1}.
E) 10 m^{-1}.

17. (FCMMG) Um grupo de estudantes necessita de uma lente para construir um projetor de *slides*, que deve ser usado numa apresentação de uma Feira de Ciências de sua escola. Eles lembram que, nesse projetor, o *slide* é pequeno e é iluminado por uma luz intensa que projeta uma imagem grande do mesmo sobre a tela. Um dos alunos é incumbido de arranjar as lentes. Procura, então, uma loja que vende óculos, e o funcionário lhe oferece lentes usadas. Ele seleciona 4 lentes e, com elas, observa as letras de um livro. Verifica que, na lente:

L_1, as letras parecem aumentar um pouco de tamanho;
L_2, as letras parecem aumentar bastante de tamanho;
L_3, as letras parecem diminuir um pouco de tamanho;
L_4, as letras parecem diminuir muito de tamanho.

Analisando as lentes trazidas com a finalidade de projetar a imagem do *slide* na tela, o grupo deve escolher a lente

A) L_1.
B) L_2.
C) L_3.
D) L_4.

18. (FCMMG–2007) Um grupo de estudantes necessita de uma lente para construir um microscópio. Eles lembram que, nesse microscópio, a imagem final é invertida e é constituída de duas lentes: a ocular e a objetiva. Um dos alunos é incumbido de arranjar as lentes. Procura, então, uma loja que vende óculos, e o funcionário lhe oferece lentes usadas. Ele seleciona 4 lentes e, com elas, observa as letras de um livro. Verifica que, na lente

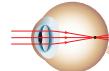
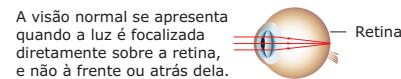
L_1, as letras parecem aumentar um pouco de tamanho;
L_2, as letras parecem aumentar bastante de tamanho;
L_3, as letras parecem diminuir um pouco de tamanho;
L_4, as letras parecem diminuir muito de tamanho.

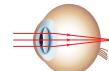
Analisando as lentes selecionadas, a ocular e a objetiva devem ser, respectivamente,

A) L_1 e L_2.
B) L_2 e L_1.
C) L_3 e L_4.
D) L_4 e L_3.

19. (UFES) Uma câmara fotográfica, com lente de distância focal f = 5,0 cm, é usada para fotografar um objeto de 1,8 m de altura.

A) **DETERMINE** a distância do objeto à lente para que a imagem do objeto no filme tenha uma altura igual a 3,0 cm.
B) Quais as características da imagem formada no filme?
C) **FAÇA** um diagrama representando o objeto, a lente e a imagem.

20. (FUVEST-SP) O ponto remoto corresponde à maior distância que pode ser focalizada na retina. Para um olho míope, o ponto remoto, que normalmente está no infinito, fica bem próximo dos olhos.

A) Que tipo de lente o míope deve usar para corrigir o defeito?
B) Qual a distância focal de uma lente para corrigir a miopia de uma pessoa cujo ponto remoto se encontra a 20 cm do olho?

SEÇÃO ENEM

01. (Enem) Sabe-se que o olho humano não consegue diferenciar componentes de cores e vê apenas a cor resultante, diferentemente do ouvido, que consegue distinguir, por exemplo, dois instrumentos diferentes tocados simultaneamente. Os raios luminosos do espectro visível, que têm comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, incidem na córnea, passam pelo cristalino e são projetados na retina. Na retina, encontram-se dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, que convertem a cor e a intensidade da luz recebida em impulsos nervosos. Os cones distinguem as cores primárias – vermelho, verde e azul –, e os bastonetes diferenciam apenas níveis de intensidade, sem separar comprimentos de onda. Os impulsos nervosos produzidos são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, para que se dê a percepção da imagem. Um indivíduo que, por alguma deficiência, não consegue captar as informações transmitidas pelos cones, perceberá um objeto branco, iluminado apenas por luz vermelha, como

A) um objeto indefinido, pois as células que captam a luz estão inativas.
B) um objeto rosa, pois haverá mistura da luz vermelha com o branco do objeto.
C) um objeto verde, pois o olho não consegue diferenciar componentes de cores.
D) um objeto cinza, pois os bastonetes captam luminosidade, porém não diferenciam cor.
E) um objeto vermelho, pois a retina capta a luz refletida pelo objeto, transformando-a em vermelho.

02. O olho humano é formado, basicamente, por um conjunto de lentes convergentes (córnea e cristalino), que tem a função de projetar imagens sobre a retina para que a pessoa possa enxergar nitidamente. Observe as figuras a seguir, que ilustram dois dos problemas de visão mais comuns:

A visão normal se apresenta quando a luz é focalizada diretamente sobre a retina, e não à frente ou atrás dela.
Retina

Problema 1

Problema 2

Fonte: Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA.

A) No problema 1, o olho está muito convergente, o que é chamado de hipermetropia, e esse problema é corrigido por lentes divergentes.
B) No problema 2, o olho está muito convergente, o que é chamado de hipermetropia, e esse problema é corrigido por lentes divergentes.
C) No problema 1, o olho está muito convergente, o que é chamado de miopia, e esta é corrigida por lentes divergentes.
D) No problema 2, o olho está pouco convergente, o que é chamado de miopia, que é corrigida por lentes convergentes.
E) No problema 1, o olho está pouco convergente, o que é chamado de miopia, que é corrigida por lentes convergentes.

03. A compreensão do fenômeno da visão não é tarefa simples. A ideia básica a ser compreendida é a de que vemos as imagens da maneira que nossos olhos e o nosso cérebro interpretam o ambiente. Os olhos detectam os sinais luminosos que os atingem, enviando ao cérebro as informações correspondentes. O cérebro decodifica essas informações e, então, somos capazes de enxergar o mundo à nossa volta. É por isso que os instrumentos ópticos podem alterar a forma aparente dos objetos — porque modificam as informações que chegam aos nossos olhos e que estes enviam ao cérebro.

Quando alguém, usando uma lupa ou microscópio, vê uma imagem enormemente aumentada de um inseto, sabe muito bem que o inseto continua do mesmo tamanho. Da mesma forma, quando vemos nossa imagem do outro lado de um espelho plano, sabemos que não estamos lá fisicamente, mas a maneira que os nossos olhos e nosso cérebro decodificam os sinais luminosos nos dá essa impressão. Quem entra num labirinto de espelhos de um parque de diversões só tem certeza de onde ele próprio está; quanto à posição do outro, é impossível diferenciar as pessoas das múltiplas imagens formadas pelo espelho.

Alberto Gaspar

De acordo com a Óptica Geométrica, a ampliação é resultado

A) do aumento do ângulo visual que é interpretado pelo nosso cérebro como "maior" ou "mais perto".
B) da tridimensionalidade fornecida pelos espelhos planos e esféricos, assim como das lentes esféricas.
C) do princípio da reversibilidade dos raios de luz, já que a trajetória não depende do sentido de propagação.
D) da característica mais importante da reflexão da luz, que é tornar iluminado qualquer corpo real.
E) do princípio da independência dos raios de luz, já que estes se cruzam sem nenhuma modificação em suas trajetórias.

04. (Enem–2010) Os espelhos retrovisores, que deveriam auxiliar os motoristas na hora de estacionar ou mudar de pista, muitas vezes causam problemas. É que o espelho retrovisor do lado direito, em alguns modelos, distorce a imagem, dando a impressão de que o veículo está a uma distância maior do que a real.

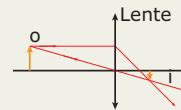
Esse tipo de espelho, chamado convexo, é utilizado com o objetivo de ampliar o campo visual do motorista, já que no Brasil se adota a direção do lado esquerdo e, assim, o espelho da direita fica muito distante dos olhos do condutor.

Disponível em: http://noticias.vrum.com.br Acesso em: 3 nov. 2010 (adaptado).

Sabe-se que, em um espelho convexo, a imagem formada está mais próxima do espelho do que este está do objeto, o que parece estar em conflito com a informação apresentada na reportagem. Essa aparente contradição é explicada pelo fato de

A) a imagem projetada na retina do motorista ser menor do que o objeto.
B) a velocidade do automóvel afetar a percepção de distância.
C) o cérebro humano interpretar como distante uma imagem pequena.
D) o espelho convexo ser capaz de aumentar o campo visual do motorista.
E) o motorista perceber a luz vinda do espelho com a parte lateral do olho.

GABARITO

Fixação

01. D   02. A   03. A   04. A

05. A) Convergente, já que não podemos obter imagens reais a partir de sistemas de lentes divergentes.
B) f = 4,8 cm

Propostos

01. B
02. A
03. D
04. A
05. A
06. E
07. C
08. E
09. E
10. C
11. D
12. C
13. B
14. D
15. A
16. A
17. B
18. B
19. A) 3,05 m
B) Real, invertida e menor que o objeto.
C)

20. A) Divergente   B) –20 cm

Seção Enem

01. D   02. C   03. A   04. C

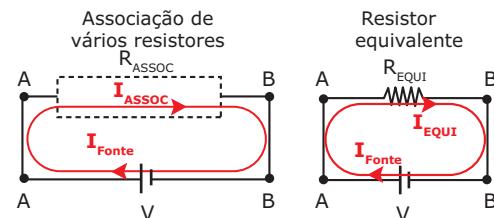
FÍSICA

Associação de resistores

MÓDULO 07 FRENTE D

A corrente elétrica (um fluxo ordenado de cargas elétricas), ao percorrer um circuito elétrico (caminho por onde a corrente passa), conforme se sabe, produz consequências diversas, por exemplo, o aquecimento dos elementos do circuito, fenômeno conhecido como efeito Joule. Sabe-se, também, que a corrente elétrica pode ser contínua ou alternada e aprendemos, em estudos anteriores, como calcular a potência elétrica e a energia elétrica "consumida" em um ou mais elementos de um circuito. Neste módulo, vamos retomar, complementar e aprofundar tais conceitos.

Chamamos de resistor qualquer elemento condutor colocado em um circuito, propositadamente, com o objetivo de transformar energia elétrica em energia térmica (caso dos aparelhos de aquecimento) ou de limitar a corrente fornecida a um dispositivo (muito usual em eletrônica). O resistor, assim como qualquer elemento colocado em um circuito elétrico, apresenta uma resistência elétrica, seja ela desejada ou não.

A maioria dos aparelhos que usamos e muitos dos circuitos utilizados em nosso cotidiano são combinações de dois ou mais resistores. Assim, eles devem ser conectados – de maneiras específicas – com o objetivo de nos fornecer o resultado que deles esperamos. Vamos descobrir como são essas ligações, denominadas associações de resistores, suas características e o uso que podemos fazer delas.

Antes de iniciar, vamos fazer uma convenção: os fios que interligam os elementos do circuito e a fonte de tensão (bateria, por exemplo) não oferecem dificuldade à passagem de corrente através deles, ou seja, os fios e a bateria apresentam resistência desprezível (são considerados ideais). Quando for importante considerar a resistência dos fios e / ou da fonte de tensão, isso será especificado.

ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Em nosso estudo anterior, vimos que, num circuito formado por um resistor e por uma fonte de tensão (d.d.p.), existe uma transformação de energia. Os portadores de carga que constituem a corrente elétrica (elétrons ou íons) recebem energia quando passam através da fonte (a pilha, por exemplo, transforma energia química em energia elétrica) e, ao passarem através do resistor, perdem a energia que a fonte lhes forneceu (ocorre transformação de energia elétrica em energia térmica). Observe, então, dois fatos importantes:

1. Toda corrente que **entra** por uma das extremidades de um resistor ou de uma fonte de tensão deve **sair** pela outra extremidade (o número de elétrons que entra é igual ao número de elétrons que sai – Princípio da Conservação das Cargas). Portanto, o resistor não "consome" corrente elétrica.

2. Em Eletricidade, a energia **fornecida** pela fonte de tensão deve ser "**consumida**" pelos elementos do circuito a cada instante (Princípio da Conservação da Energia). As usinas de eletricidade devem, a cada instante do dia, transformar outras formas de energia em energia elétrica para atender, exatamente, à demanda por energia elétrica que existe naquele momento.

Os resistores podem ser associados de várias maneiras: em série, em paralelo, em delta, em estrela, etc. Vamos considerar, aqui, apenas as ligações de elementos em série e em paralelo. Para tais associações, podemos montar um circuito equivalente, em que há um único resistor, chamado de resistor equivalente, que irá apresentar as mesmas características da associação.

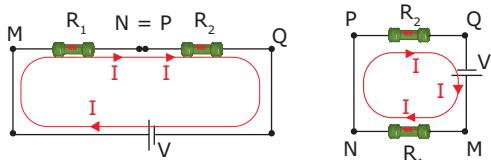
Observe, na figura anterior, que as fontes, a associação de resistores e o resistor equivalente estão ligados, diretamente, aos pontos A e B. Sejam V = voltagem; I = corrente; R = resistência e P = potência dissipada. Em qualquer tipo de associação de dois (ou mais) resistores, há características que são comuns a todas as associações e que, portanto, precisamos conhecer; são elas:

1 – $V_{EQUI} = V_{ASSOC} = V_{FONTE}$
2 – $I_{EQUI} = I_{ASSOC} = I_{FONTE}$
3 – $R_{EQUI} = R_{ASSOC}$
4 – $P_{EQUI} = P_{ASSOC} = P_1 + P_2 + \ldots P_n$

No quadro, P_1, P_2 e P_n são as potências dissipadas, individualmente, nos resistores que formam a associação, qualquer que seja ela.

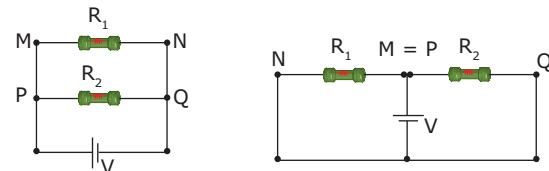
COMO FAZER ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Fazer uma associação de resistores, de qualquer tipo, envolve uma metodologia de como os resistores são conectados entre si e com a bateria que lhes vai prover a diferença de potencial (tensão) necessária. Ou seja, o tipo de associação depende da maneira *(modus operandi)* como os resistores são ligados.

Associação de resistores em série

Considere os resistores 1 e 2 a seguir, de resistências R_1 e R_2. Cada um apresenta duas extremidades livres (M, N e P, Q).

Fazer uma associação em série de dois resistores consiste em duas etapas:

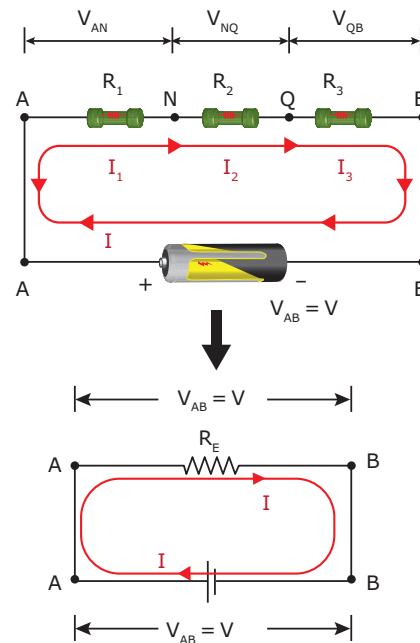
1. Ligar as extremidades N (de R_1) e P (de R_2);
2. Conectar a bateria aos terminais que estão livres – M (de R_1) e Q (de R_2).

Dessa forma, a corrente elétrica encontra apenas um caminho para percorrer o circuito, conforme mostrado a seguir. Esse é um fato importante. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **série** quando são percorridos pela **mesma corrente elétrica** (os mesmos portadores de carga atravessam os diversos resistores).

É possível notar que dois resistores em série não estão, necessariamente, na mesma reta.

Associação de resistores em paralelo

Para exemplificar a associação de dois resistores em paralelo, vamos usar os mesmos resistores 1 e 2 da montagem anterior. Fazer uma associação de dois resistores em paralelo exige três etapas, a saber:

1. Ligar a extremidade M (de R_1) à extremidade P (de R_2);
2. Conectar as extremidades N (de R_1) e Q (de R_2);
3. Estabelecer a conexão da bateria aos pontos que foram unidos (MP e NQ).

Observe que os pontos M e P estão submetidos a um mesmo potencial, assim como os pontos N e Q. Portanto, $V_{MN} = V_{PQ} = V_{FONTE}$. Logo, os dois resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ou voltagem. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **paralelo** se cada uma das extremidades de um dos resistores estiver no mesmo potencial em relação às extremidades dos outros resistores. Assim, resistores associados em paralelo estão submetidos à **mesma diferença de potencial**.

Com certeza, pode-se perceber que dois resistores associados em paralelo não são, obrigatoriamente, paralelos um ao outro.

ESPECIFICIDADES DA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Em série

A figura a seguir mostra três resistores (R_1, R_2 e R_3) associados em série e conectados a uma pilha de tensão V. A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.

Observe que a corrente que percorre o circuito tem um único caminho para passar (seja na bateria, no resistor equivalente ou nos resistores da associação). Portanto, concluímos que os resistores estão ligados em série.

Observe, também, que os mesmos portadores de carga que formam a corrente devem passar, sucessivamente, nos resistores R_1, R_2 e R_3. Portanto, os portadores de carga "gastam" uma parte da energia recebida da bateria em cada um dos resistores. Veja que $V_1 = V_{AN}$, $V_2 = V_{NQ}$ e $V_3 = V_{QB}$. Logo, podemos escrever:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$
$$V_{FONTE} = V_1 + V_2 + V_3$$

Sabemos que V = RI. Substituindo esse resultado na segunda relação do quadro anterior, temos:

$$RI = R_1I_1 + R_2I_2 + R_3I_3$$

Simplificando as correntes, que são iguais, obtemos:

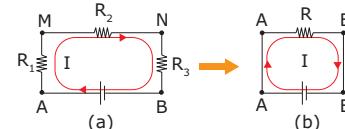
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

A respeito dessa última relação, vamos fazer as seguintes considerações:

1. A resistência total (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é sempre maior que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Podemos fazer uma analogia entre a associação de resistores em série e um fio a ser percorrido pela corrente quando dizemos que, ao fazer a associação dos resistores em série, é como se estivéssemos aumentando o comprimento (L) do fio a ser percorrido pela corrente (lembre-se de que $R = \rho L/A$).
2. Mais importante do que conhecer a relação entre os resistores que compõem a associação e o resistor equivalente é conhecer as relações entre corrente e tensão nesse tipo de circuito, sem as quais será difícil analisar circuitos em série.

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

Dessa forma, uma vez que os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica, dois fatos merecem destaque na associação em série de resistores:

- A maior queda de tensão ou d.d.p. (V) acontece no resistor que apresenta maior valor de resistência (I = constante $\Rightarrow V \propto R$). Em outras palavras, esse resistor recebe a maior parcela da voltagem total (V_{FONTE});
- O resistor de resistência mais alta é aquele que vai dissipar a maior potência, esquentar mais e, consequentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte (I = constante $\Rightarrow P \propto R$ ou $P \propto V$).

A seguir, apresentaremos um exercício resolvido no qual os conceitos até aqui abordados são revisados.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Considere três resistores ligados em série e conectados a uma bateria, conforme mostrado.

Dados: $V_{AB} = 16$ V; $R_1 = 1{,}0\ \Omega$; $R_2 = 4{,}0\ \Omega$; $R_3 = 3{,}0\ \Omega$

Determinar as correntes (I_1, I_2 e I_3) em cada resistor, a tensão nos terminais de cada um deles (V_1, V_2 e V_3) e as potências dissipadas por eles (P_1, P_2 e P_3).

Resolução:

Observe na figura (a) que a corrente tem um único caminho para percorrer a associação. Assim, podemos afirmar que os resistores estão associados em série. Na figura (b), temos o circuito equivalente, no qual $R = 8{,}0\ \Omega$.

Usando a relação V = RI no resistor equivalente (veja que ele está ligado diretamente aos terminais da bateria, $V_R = V_{AB} = 16$ V), temos:

$16 = 8{,}0.I \Rightarrow I = 2{,}0$ A (corrente no circuito)

Como os resistores estão associados em série, temos que $I = I_1 = I_2 = I_3 = 2{,}0$ A.

OBSERVAÇÕES

Sabemos que $Q = ne = I\Delta t$. Em 2,0 A, temos, portanto, exatos $1{,}25 \times 10^{19}$ elétrons (12,5 milhões de trilhões deles) percorrendo o circuito a cada segundo. Ou seja, a corrente obedece à quantização de cargas.

Vamos usar a relação V = RI em cada um dos resistores:

$V_1 = 1{,}0.2{,}0 = 2{,}0$ V $\Rightarrow$ $V_1 = 2{,}0$ V

$V_2 = 4{,}0.2{,}0 = 8{,}0$ V $\Rightarrow$ $V_2 = 8{,}0$ V

$V_3 = 3{,}0.2{,}0 = 6{,}0$ V $\Rightarrow$ $V_3 = 6{,}0$ V

Como os resistores estão associados em série, temos que $V_{Fonte} = V_1 + V_2 + V_3 = 16$ V.

A potência dissipada nos resistores pode ser calculada por $P = RI^2$; logo:

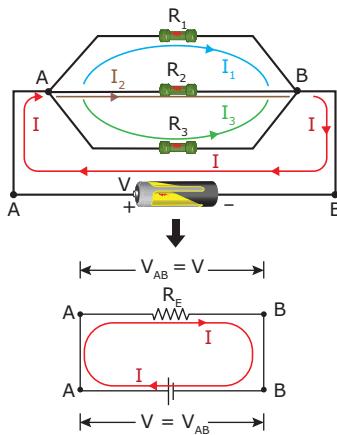
$P_1 = 1{,}0.2{,}0^2 = 4{,}0$ W $\Rightarrow$ $P_1 = 4{,}0$ W

$P_2 = 4{,}0.2{,}0^2 = 16$ W $\Rightarrow$ $P_2 = 16$ W

$P_3 = 3{,}0.2{,}0^2 = 12$ W $\Rightarrow$ $P_3 = 12$ W

$P_T = 8{,}0.2{,}0^2 \Rightarrow P_T = 32$ W (potência total do circuito)

Em qualquer associação:

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + ...\ P_n \Rightarrow P_T = 4{,}0 + 16 + 12 = 32$ W

Da solução do exercício, é importante que se perceba que

1. o resistor R_2 não está ligado diretamente aos terminais da bateria e que a tensão entre os seus terminais é V_{MN} (V_2) = 8,0 V e não V_{AB} = 16 V (Observe a figura original). Muitas pessoas têm dificuldade com isso.
2. uma vez que a corrente é a mesma em todos os resistores da associação, o resistor R_2, de maior resistência, foi o que dissipou a maior potência ($P \propto R$).

Em paralelo

Na figura a seguir, temos três resistores (R_1, R_2 e R_3) associados em paralelo e conectados a uma pilha de tensão V. A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.

Veja que os três resistores têm as suas extremidades ligadas diretamente aos terminais da bateria (pontos A e B). Dessa forma, todos os resistores estão submetidos à mesma voltagem (V_{AB}). Logo, podemos concluir que os três resistores estão associados em paralelo. Veja que, nesse caso, a tensão em qualquer um dos resistores é igual à voltagem fornecida pela fonte.

Observe, também, que a corrente total da associação (fornecida pela bateria) encontra três caminhos para ir de A para B (um em cada resistor). Dessa forma, ela se divide no ponto A e cada parcela da corrente passa por um dos resistores; ao chegarem ao ponto B, essas parcelas se juntam, formando novamente a corrente total que segue para a bateria. Assim, temos:

$$V_{FONTE} = V_1 = V_2 = V_3$$
$$I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + I_3$$

Sabe-se que I = V/R. Utilizando essa relação na segunda equação do quadro anterior, temos:

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Simplificando as voltagens, que são iguais, obtemos a seguinte relação:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Se apenas dois resistores estão associados em paralelo, podemos reescrever a relação anterior como:

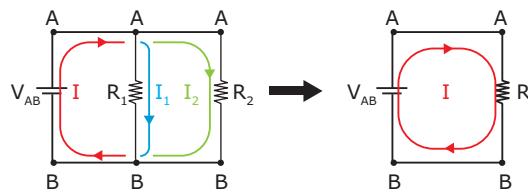
$$R = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

A respeito da resistência equivalente na associação de resistores em paralelo, vamos fazer três observações:

1. A resistência total (ou equivalente) da associação de resistores em paralelo é sempre menor que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Fazendo uma analogia entre a associação de resistores em paralelo e um fio a ser percorrido por uma corrente, podemos dizer que, ao fazer a associação em paralelo, é como se estivéssemos mantendo o comprimento do fio a ser percorrido pela corrente constante, mas estivéssemos aumentando a área (A) do fio para a corrente passar (lembre-se de que $R = \rho L/A$).
2. Conhecer a relação entre corrente e tensão nesse tipo de circuito é mais importante do que saber determinar sua resistência equivalente.
3. Se os resistores em paralelo apresentam resistências iguais, o resistor equivalente (R_E) será obtido dividindo-se a resistência de um deles (R) pelo número (n) de resistores:

$$R_E = R/n$$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

Uma vez que os resistores estão submetidos à mesma voltagem (d.d.p. ou tensão), dois fatos relevantes merecem destaque na ligação em paralelo de resistores:

- A maior corrente (mais intensa) vai atravessar o resistor de menor resistência ($V = \text{constante} \Rightarrow I \propto 1/R$). Em outras palavras, a resistência menor recebe a maior parcela da corrente total (I);
- O resistor de resistência mais baixa é aquele que vai dissipar a maior potência (esquentar mais) e, consequentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ($V = \text{constante} \Rightarrow P \propto I$ ou $P \propto 1/R$).

Acompanhe com muita atenção o exercício a seguir.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Dois resistores ($R_1 = 60\ \Omega$ e $R_2 = 30\ \Omega$) são associados em paralelo e ligados a uma bateria ($V_{AB} = 120$ V).

A) Determinar a resistência equivalente (R) da associação, as correntes (I_1 e I_2) e as potências dissipadas (P_1 e P_2) em cada resistor.

B) Posteriormente, um outro resistor ($R_3 = 20\ \Omega$) é ligado em paralelo aos outros dois. Recalcular, agora, as correntes na associação.

Resolução:

A) Observe os pontos A e B colocados no esquema da associação. Eles nos garantem que os resistores 1 e 2 estão submetidos à mesma diferença de potencial (V_{AB}) e, portanto, estão ligados em paralelo. Logo:

$R = (R_1.R_2)/(R_1 + R_2) = 60.30/90 \Rightarrow R = 20\ \Omega$

No circuito equivalente, $I_{TOTAL} = V/R = 120/20 \Rightarrow I = 6{,}0$ A.

Nessa associação, $V_1 = V_2 = V_{AB} = 120$ V e $I = V/R$; logo:

$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2{,}0$ A

$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4{,}0$ A

Como os resistores estão em paralelo, $I_{TOTAL} = I_1 + I_2 = 6{,}0$ A.

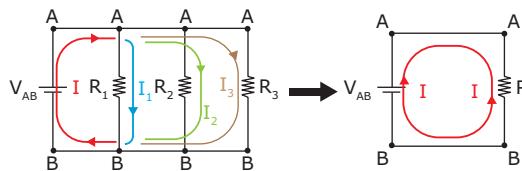
Certamente, é possível perceber que, na associação, a corrente total (6,0 A) se dividiu em $I_1 = 2{,}0$ A (azul) e $I_2 = 4{,}0$ A (verde). No ponto B central, essas correntes (I_1 e I_2) se unem para formar, novamente, a corrente total.

Vamos calcular as potências dissipadas nos resistores R_1 e R_2 utilizando a relação $P = RI^2$:

$P_1 = 60.2{,}0^2 = 240$ W $\Rightarrow P_1 = 240$ W

$P_2 = 30.4{,}0^2 = 480$ W $\Rightarrow P_2 = 480$ W

$P_T = 20.6{,}0^2 = 720$ W $\Rightarrow P_T = 720$ W (potência total dissipada no circuito)

Em qualquer associação:

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + ... P_n \Rightarrow P_T = P_1 + P_2 = 240 + 480 = 720$ W

OBSERVAÇÃO

O fato de o resistor apresentar uma resistência à passagem da corrente elétrica e, por causa disso, esquentar-se – efeito Joule – costuma provocar um erro conceitual. Muitos pensam que, quanto maior for a resistência elétrica, maior será o aquecimento. Isso não é totalmente verdadeiro, uma vez que a potência dissipada depende, também, da corrente que atravessa o resistor.

Veja o caso anterior. O resistor R_2, apesar de ter a metade da resistência de R_1, dissipa maior potência (esquenta mais). Isso acontece porque a corrente que atravessa o resistor R_2 é o dobro daquela que passa por R_1. Note, na equação de potência ($P = RI^2$), que a corrente está elevada ao quadrado e, nesse caso, é mais relevante do que a resistência.

B) Vamos, agora, acrescentar o terceiro resistor ao circuito. Veja o esquema a seguir.

Calculando a resistência equivalente dessa associação, temos:

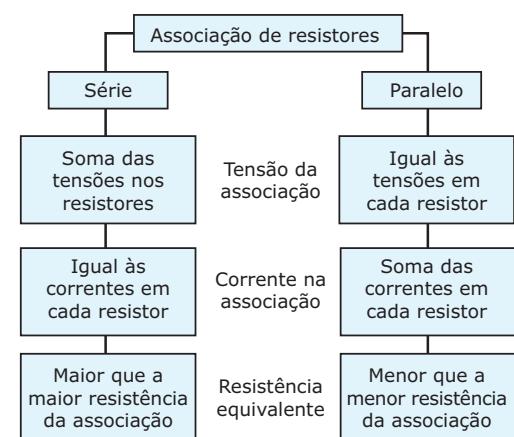
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \Rightarrow R = 10\ \Omega$$

Antes de continuar, vamos constatar um fato importante. A resistência equivalente da associação com os resistores R_1 e R_2 é 20 Ω, menor que as resistências individuais de R_1 e R_2. O resistor equivalente da associação com os resistores R_1, R_2 e R_3 tem resistência de 10 Ω (menor que a resistência equivalente da associação anterior). Ou seja, quanto mais resistores são colocados em paralelo, menor fica a resistência total do circuito e, consequentemente, maior será a corrente total, como veremos a seguir.

No circuito equivalente, $I_{TOTAL} = V/R = 120/10 \Rightarrow I = 12$ A.

Nessa associação, $V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB} = 120$ V e $I = V/R$; logo:

$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2{,}0$ A

$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4{,}0$ A

$I_3 = V_3/R_3 = 120/20 \Rightarrow I_3 = 6{,}0$ A

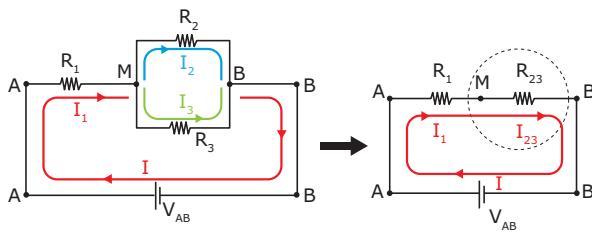
Chegamos, agora, ao momento mais importante da solução. Observe que as correntes em R_1 e R_2 não sofreram alteração com a inserção do resistor R_3. Ou seja, na associação de elementos exclusivamente em paralelo, a corrente e a voltagem em cada um dos elementos são independentes da corrente e da voltagem dos demais elementos. Em outras palavras, cada um funciona sem tomar conhecimento dos outros que eventualmente estejam sendo inseridos ou retirados do circuito. O que é alterado é a corrente total da associação.

Da solução do exercício, é relevante notarmos que

1. os resistores estão ligados diretamente aos terminais da bateria e a tensão entre os terminais de todos eles é $V_{AB} = 120$ V (volte à figura e observe). A grandeza que se divide entre os resistores é a corrente elétrica.
2. uma vez que a voltagem é a mesma em todos os resistores da associação, o menor deles, no caso o resistor R_3, é o que vai dissipar a maior potência ($P \propto 1/R$).

Veja o mapa conceitual comparativo das associações de resistores em série e em paralelo:

FÍSICA

OBSERVAÇÃO

Se os resistores formam uma associação exclusivamente em paralelo, como no exercício resolvido 02, não há necessidade de se calcular o resistor equivalente e nem a corrente total. Uma vez que os resistores estão conectados diretamente à bateria, a tensão em cada um deles já é conhecida (voltagem da bateria). Assim, para calcular a corrente em cada resistor (n), basta dividir a tensão da bateria pela resistência desse resistor ($I_n = V_{BAT}/R_n$). A corrente total será a soma das correntes em cada resistor.

Em associação mista

É muito comum que os circuitos apresentem uma mistura de associações de elementos em série e em paralelo. Numa associação mista de resistores, por mais complicada que seja, devemos trabalhar com cada associação separadamente. Deve-se começar com os resistores para os quais se tem certeza do tipo de associação – por isso é importante conhecer as características específicas das associações em série e das associações em paralelo. Vamos analisar alguns exemplos de circuitos mistos.

Exemplo 01

Dados: $V_{AB} = 120$ V; $R_1 = 8,0\ \Omega$; $R_2 = 6,0\ \Omega$; $R_3 = 3,0\ \Omega$

Veja que o resistor R_1 não está em série com R_2 e também não está em série com R_3 (a corrente neles não é a mesma). Mas observe que as tensões em R_2 e em R_3 são iguais ($V_2 = V_3 = V_{MB}$). Assim, os resistores R_2 e R_3 estão, com certeza, em paralelo. Deve-se, portanto, começar com eles e desenhar um outro circuito, colocando o resistor equivalente de R_2 e R_3, conforme a figura anterior. Veja, nela, que os resistores R_1 e R_{23} são percorridos pela mesma corrente. Assim, tais resistores estão associados em série, e o desenho do circuito equivalente a eles poderá ser feito. Vamos calcular a resistência equivalente e a corrente total no circuito, conforme a sequência a seguir.

$R_{23} = (R_2.R_3)/(R_2+R_3) = 6,0.3,0/9,0 \Rightarrow R_{23} = 2,0\ \Omega$

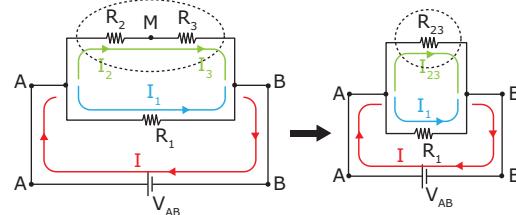
$R_E = R_1+R_{23} = 8,0 + 2,0 \Rightarrow R_E = 10\ \Omega$

No circuito equivalente, $I = V_{AB}/R_E = 120/10 \Rightarrow I = 12$ A.

As correntes em R_1 e em R_{23} são iguais a I; logo:

$I_1 = I_{23} = 12$ A

A tensão em R_{23} é $V_{MB} = R_{23}.I_{23} = 2,0.12 = 24$ V.

As correntes em R_2 e R_3 são I_2 e I_3. Essas correntes podem ser calculadas como mostrado a seguir:

$I_2 = V_{MB}/R_2 = 24/6,0 \Rightarrow I_2 = 4,0$ A

$I_3 = V_{MB}/R_3 = 24/3,0 \Rightarrow I_3 = 8,0$ A

Observe que $I = I_1 = I_2 + I_3$.

Exemplo 02

Dados: $V_{AB} = 120$ V; $R_1 = 5,0\ \Omega$; $R_2 = 14\ \Omega$; $R_3 = 6,0\ \Omega$

Veja que o resistor R_2 está, com certeza, em série com R_3, pois a corrente elétrica que passa através deles é a mesma. Na análise dessa associação de resistores, devemos começar com os resistores R_2 e R_3 e desenhar um outro circuito (conforme o da direita), no qual é fácil perceber que R_1 e R_{23} estão em paralelo ($V_1 = V_{23} = V_{AB} = 120$ V). Podemos representar o circuito equivalente e calcular a corrente elétrica total e a resistência total desse circuito, conforme a sequência a seguir.

$R_{23} = R_2+R_3 = 14 + 6,0 \Rightarrow R_{23} = 20\ \Omega$

$R_E = (R_1.R_{23})/(R_1+R_{23}) = 5,0.20/25 \Rightarrow R_E = 4,0\ \Omega$

No circuito equivalente, $I = V_{AB}/R_E = 120/4,0 \Rightarrow I = 30$ A.

As correntes em R_1 e R_{23} são I_1 e I_{23} e podem ser calculadas como mostrado a seguir:

$I_1 = V_{AB}/R_1 = 120/5,0 \Rightarrow I_1 = 24$ A

$I_{23} = V_{AB}/R_{23} = 120/20 \Rightarrow I_{23} = 6,0$ A

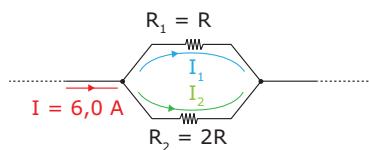
Observe que $I = I_1 + I_{23}$.

As correntes que circulam pelos resistores R_2 e R_3 são iguais; logo, $I_2 = I_3 = 6,0$ A.

As tensões em R_2 e R_3 são V_2 e V_3 e podem ser calculadas da seguinte maneira:

$V_2 = V_{AM} = R_2.I_2 = 14.6,0 \Rightarrow V_2 = 84$ V

$V_3 = V_{MB} = R_3.I_3 = 6,0.6,0 \Rightarrow V_3 = 36$ V

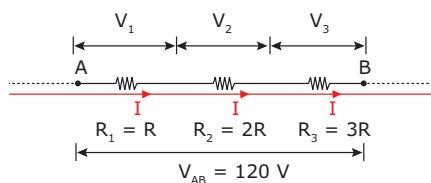
Note que $V_{AB} = V_2 + V_3 = 84 + 36 = 120$ V.

OBSERVAÇÃO

Nesse caso, não há necessidade de se calcular o circuito equivalente, uma vez que R_1 está ligado diretamente aos terminais da bateria. A corrente no resistor R_1 é $I_1 = V_{AB}/R_1$. Para resolvermos o circuito, basta calcular a corrente elétrica em R_2 e R_3, que estão em série.

DIVISÃO DE CORRENTE E DIVISÃO DE TENSÃO

A partir dos exercícios resolvidos anteriormente, foi possível perceber como dividir a corrente entre resistores associados em paralelo e como dividir a tensão entre resistores associados em série. Uma ferramenta útil na análise das associações de resistores consiste em usar as proporcionalidades entre as grandezas para dividir a corrente ou a tensão entre os resistores.

Considere dois resistores associados em paralelo, que fazem parte de um circuito maior, e considere que conheçamos o valor da corrente que chega a eles. Como dividir essa corrente entre esses resistores?

Observe, na figura, que $R_1 = R_2/2$. Uma vez que eles estão em paralelo, as voltagens são iguais e as correntes que atravessam cada um deles se somam para formar a corrente total. Sabemos que $I = V/R$, e, portanto, a corrente em cada resistor é inversamente proporcional à sua resistência (a voltagem é a mesma para os dois).

Como $R_1 = R_2/2$, temos que $I_1 = 2I_2$.

Em paralelo, $I_1 + I_2 = I \Rightarrow 2I_2 + I_2 = 6{,}0\ A \Rightarrow 3I_2 = 6{,}0\ A$.

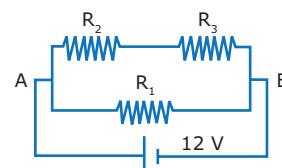
Assim, $I_2 = 2{,}0\ A$ e $I_1 = 4{,}0\ A$.

A associação em paralelo é um circuito chamado de divisor de corrente.

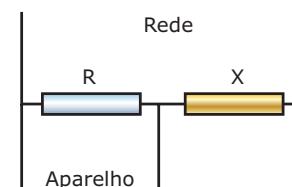
Observe, agora, três resistores associados em série e essa associação submetida a uma tensão $V_{AB} = 120\ V$. Como dividir a tensão entre os resistores?

Já que os resistores estão associados em série, a corrente é a mesma em todos eles, e as tensões em cada um se somam para formar a voltagem total. Sabe-se que $V = RI$ e, assim, a tensão em cada um dos resistores é diretamente proporcional à sua resistência (a corrente elétrica é a mesma). Portanto:

Se $R_3 = 3R_1$ e $R_2 = 2R_1$, temos que $V_3 = 3V_1$ e $V_2 = 2V_1$.

Em série, $V_1 + V_2 + V_3 = V_{AB} \Rightarrow V_1 + 2V_1 + 3V_1 = 120\ V$

$\Rightarrow 6V_1 = 120 \Rightarrow V_1 = 20\ V$.

Assim, $V_1 = 20\ V$, $V_2 = 40\ V$ e $V_3 = 60\ V$.

A associação em série é um circuito chamado de divisor de tensão. Assim, se você necessita de uma tensão menor do que aquela que está disponível, para fazer funcionar um aparelho, deverá ligar um resistor, de resistência específica, em série com o equipamento. Como haverá uma divisão da tensão entre eles, o aparelho usará apenas a voltagem que lhe é devida.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. Observe o esquema. A bateria é ideal e as resistências de R_1, R_2 e R_3 são iguais a $6\ \Omega$, $2\ \Omega$ e $4\ \Omega$, respectivamente. A respeito do circuito, é **INCORRETO** afirmar que

A) as correntes que passam nos três resistores têm intensidades iguais.

B) o resistor 1 libera, por segundo, mais calor do que a soma dos outros dois.

C) se o resistor 3 queimar, a potência do resistor 1 fica a mesma de antes.

D) a resistência total da associação, entre os pontos A e B, é igual a $3\ \Omega$.

E) se o resistor 1 queimar, as voltagens nos resistores 2 e 3 não se alteram.

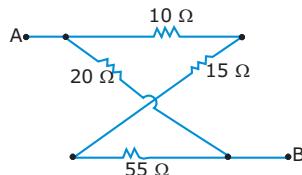
02. (Unesp–2006) Um estudante adquiriu um aparelho cuja especificação para o potencial de funcionamento é pouco usual. Assim, para ligar o aparelho, ele foi obrigado a construir e a utilizar o circuito constituído de dois resistores, com resistências X e R, como apresentado na figura. Considere que a corrente que passa pelo aparelho seja muito pequena e possa ser descartada na solução do problema. Se a tensão especificada no aparelho é a décima parte da tensão da rede, então a resistência X deve ser

A) 6R.

B) 8R.

C) 9R.

D) 11R.

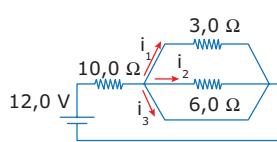
E) 12R.

03. (FEPECS-DF) As figuras mostram os diagramas de dois circuitos elétricos A e B, cada um com duas resistências diferentes sob a d.d.p. de uma bateria. Podemos afirmar que

A) as resistências do circuito em A estão em paralelo, porque aparecem em retas paralelas distintas do diagrama, enquanto as do circuito em B estão em série, porque aparecem em uma mesma reta do diagrama.

B) em ambos os circuitos as resistências estão em série, porque podemos percorrer cada circuito passando, consecutivamente, pelas duas resistências.

C) em ambos os circuitos as resistências estão em série, porque a d.d.p. entre as extremidades de cada resistência é a mesma para as duas resistências.

D) no circuito A as resistências estão em série, pois por elas passa a mesma corrente, e no circuito B estão em paralelo, pois as duas estão sob uma mesma d.d.p.

E) em ambos os circuitos as resistências estão em paralelo, pois a duas estão sob uma mesma d.d.p.

04. (UFLA-MG) Os resistores elétricos podem atuar como divisores de corrente ou de tensão, dependendo da forma como estão associados. Na associação mostrada a seguir, a resistência equivalente entre os pontos A e B vale

A) 20 Ω.
B) 16 Ω.
C) 100 Ω.
D) 80 Ω.
E) 5 Ω.

05. (UFV-MG) Os valores das correntes i_1, i_2 e i_3 no circuito a seguir são, respectivamente,

A) 0,33 A; 0,17 A e zero.
B) zero; zero e 1,20 A.
C) 3,33 A; 1,67 A e zero.
D) zero; zero e 1,00 A.
E) 33,3 A; 1,67 A e zero.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (FMTM-MG) Um resistor R_1, de resistência R, encontra-se submetido a uma fonte de tensão V e é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i (figura 1). Ao se inserir, simultane aralelo com o primeiro (figura 2), a tensão e a corrente sobre o resistor R_1 serão, respectivamente,

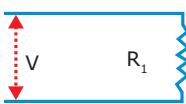



Figura 1

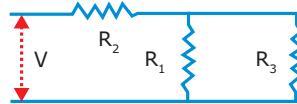
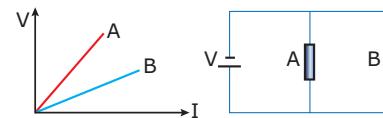
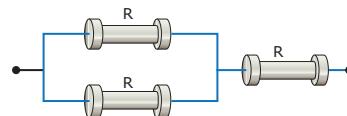
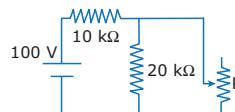



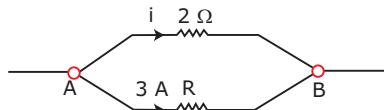
Figura 2

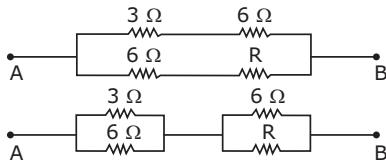
A) V e i.
B) V/2 e 3i.
C) V/3 e 3i.
D) V/2 e i/3.
E) V/3 e i/3.

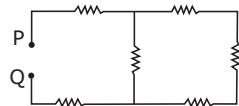
02. (FMJ-SP–2007) Quando dois resistores encontram-se associados em série, a resistência equivalente R_s é igual a 9,0 Ω, e, quando associados em paralelo, a resistência equivalente R_p é igual a 2,0 Ω. Os valores das resistências desses resistores, em ohms, são

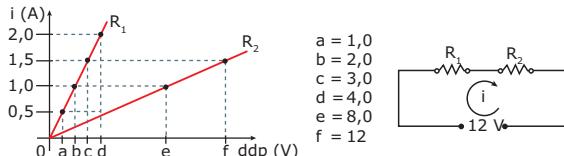
A) 1,0 Ω e 8,0 Ω.
B) 2,0 Ω e 7,0 Ω.
C) 3,0 Ω e 6,0 Ω.
D) 4,0 Ω e 5,0 Ω.
E) 4,5 Ω e 4,5 Ω.

03. (CEFET-MG) O comportamento elétrico dos condutores A e B está representado no gráfico a seguir. Eles são conectados à bateria ideal do circuito mostrado.

Sendo I_A e I_B as intensidades das correntes que os atravessam, e V_A e V_B as tensões a que estão submetidos, respectivamente, é **CORRETO** afirmar que

A) $I_A < I_B$ e $V_A = V_B$.
B) $I_A = I_B$ e $V_A = V_B$.
C) $I_A > I_B$ e $V_A < V_B$.
D) $I_A = I_B$ e $V_A > V_B$.
E) $I_A > I_B$ e $V_A = V_B$.

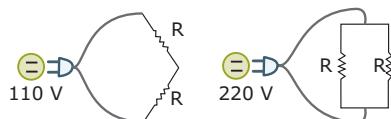
04. (UFC) No circuito a seguir, os três resistores são idênticos e cada um pode dissipar uma potência máxima de 32 W sem haver risco de superaquecimento. Nessas condições, qual a potência máxima que o circuito poderá dissipar?

A) 32 W
B) 36 W
C) 40 W
D) 44 W
E) 48 W

05. (PUC RS–2006) Considere a análise do circuito a seguir, em que R representa a resistência elétrica de um reostato que pode ser regulada para assumir valores entre 0 e um valor máximo de 20 kΩ. Considerando uma variação da resistência R entre os seus limites, as intensidades máxima e mínima da corrente elétrica que passa no resistor de 10 kΩ são, respectivamente,

A) 8,0 mA e 2,0 mA.
B) 8,0 mA e 4,0 mA.
C) 8,0 mA e 5,0 mA.
D) 10 mA e 2,5 mA.
E) 10 mA e 5,0 mA.

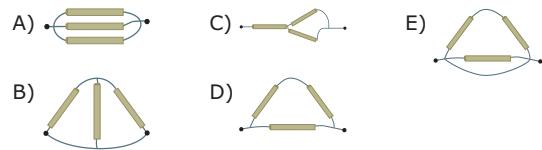
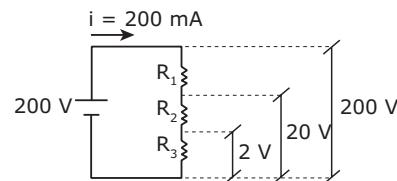
06. (FGV-SP) A figura seguinte representa um trecho de circuito elétrico. A diferença de potencial entre os pontos A e B é 12 V. Pode-se afirmar que os valores de i e R são, respectivamente,

A) 1 A e 4 Ω.
B) 2 A e 8 Ω.
C) 3 A e 6 Ω.
D) 4 A e 4 Ω.
E) 6 A e 4 Ω.

07. (Mackenzie-SP) Para que as associações de resistores a seguir tenham a mesma resistência equivalente, o resistor R deve valer

A) 3 Ω. B) 6 Ω. C) 9 Ω. D) 12 Ω. E) 15 Ω.

08. (Cesgranrio) No circuito representado a seguir, todos os resistores têm resistência igual a R. A resistência equivalente entre os pontos P e Q é

A) 5R/3.
B) 7R/4.
C) 9R/5.
D) 11R/4.
E) 13R/6.

09. (Cesgranrio) O gráfico a seguir representa as intensidades das correntes elétricas que percorrem dois resistores ôhmicos, R_1 e R_2, em função da ddp aplicada em cada um deles. Abaixo do gráfico, há o esquema de um circuito no qual R_1 e R_2 estão ligados em série a uma fonte ideal de 12 V.

Nesse circuito, a intensidade da corrente elétrica que percorre R_1 e R_2 vale

A) 0,8 A. B) 1,0 A. C) 1,2 A. D) 1,5 A E) 1,8 A.

10. (VUNESP) Dois resistores iguais estão ligados em série a uma tomada de 110 V e dissipam ao todo 550 watts. Observe a figura a seguir:

A potência total dissipada por esses mesmos resistores, se são ligados em paralelo a uma tomada de 220 V, é igual a

A) 4 400 W.
B) 1 100 W.
C) 2 200 W.
D) 8 800 W.

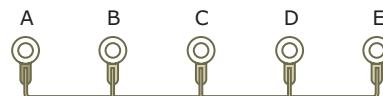
11. (Fuvest-SP) Dispondo de pedaços de fios e 3 resistores de mesma resistência, foram montadas as conexões apresentadas a seguir. Entre essas, aquela que apresenta a **MAIOR** resistência elétrica entre seus terminais é

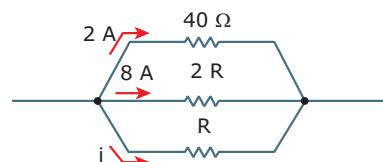
A)

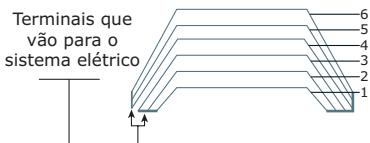
C)

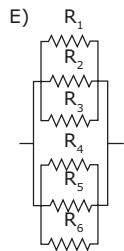
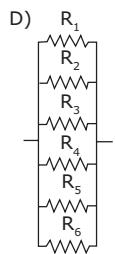
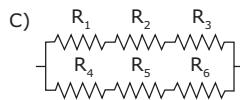
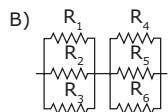
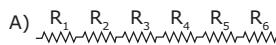
E)

B)

D)

12. (UFLA-MG–2009 / Adaptado) O circuito a seguir é composto por três resistores R_1, R_2 e R_3, alimentados por uma fonte ideal de tensão V = 200 V, que mantém uma corrente elétrica de 200 mA. Considerando as quedas de tensão indicadas na figura, pode-se afirmar que o valor de R_2 é igual a

A) 1 000 Ω.
B) 200 Ω.
C) 333,3 Ω.
D) 90 Ω.

13. (FGV-SP) Devido à capacidade de fracionar a tensão elétrica, um resistor de fio também é conhecido como divisor de tensão. O esquema mostra um resistor desse tipo, feito com um fio ôhmico de resistividade e área de seção transversal uniformes, onde foram ligados os conectores de A até E, mantendo-se a mesma distância entre conectores consecutivos.

Uma vez estabelecidos os potenciais 0 V e 120 V nos conectores A e E, respectivamente, o valor absoluto da diferença de potencial entre os conectores C e D, em V, é

A) 24.
B) 30.
C) 48.
D) 60.
E) 72.

14. (Mackenzie-SP) Na associação de resistores da figura a seguir, os valores de i e R são, respectivamente,

A) 8 A e 5 Ω.
B) 16 A e 5 Ω.
C) 4 A e 2,5 Ω.
D) 2 A e 2,5 Ω.
E) 1 A e 10 Ω.

15. (VUNESP) Alguns automóveis modernos são equipados com um vidro térmico traseiro para eliminar o embaçamento em dias úmidos. Para isso, "tiras resistivas" instaladas na face interna do vidro são conectadas ao sistema elétrico de modo que se possa transformar energia elétrica em energia térmica. Num dos veículos fabricados no país, por exemplo, essas tiras (resistores) são arranjadas como mostra a figura a seguir.

Se as resistências das tiras 1, 2..., 6 forem, respectivamente, R_1, R_2..., R_6, a associação que corresponde ao arranjo das tiras da figura é

A)

B)

C)

D)

E)

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2010) Todo carro possui uma caixa de fusíveis, que são utilizados para proteção dos circuitos elétricos. Os fusíveis são constituídos de um material de baixo ponto de fusão, como o estanho, por exemplo, e se fundem quando percorridos por uma corrente elétrica igual ou maior do que aquela que são capazes de suportar. O quadro a seguir mostra uma série de fusíveis e os valores de corrente por eles suportados.

Fusível	Corrente elétrica A
Azul	1,5
Amarelo	2,5
Laranja	5,0
Preto	7,5
Vermelho	10,0

Um farol usa uma lâmpada de gás halogênio de 55 W de potência que opera com 36 V. Os dois faróis são ligados separadamente, com um fusível para cada um, mas, após um mau funcionamento, o motorista passou a conectá-los em paralelo, usando apenas um fusível. Dessa forma, admitindo-se que a fiação suporte a carga dos dois faróis, o menor valor de fusível adequado para proteção desse novo circuito é o

A) azul.
B) preto.
C) laranja.
D) amarelo.
E) vermelho.

02. Um forno elétrico possui dois resistores. Um deles fica na parte de baixo do aparelho e é usado para assar os alimentos; esse resistor apresenta uma resistência elétrica R_A. O outro resistor fica na parte de cima do forno e é utilizado para gratinar os alimentos; esse resistor tem resistência elétrica R_G. Os dois resistores são acionados, de forma independente, por duas chaves próprias. Depois de algum tempo de funcionamento, a chave que liga o resistor de baixo estragou. O proprietário resolveu interligar os resistores de modo que apenas a chave de gratinar colocaria os dois resistores em funcionamento simultâneo. Indique, entre as alternativas a seguir, o circuito esquemático que permite que os dois resistores funcionem simultaneamente, sendo controlados pela chave, e que forneçam a maior temperatura, de modo a assar e gratinar alimentos no menor tempo possível.

GABARITO

Fixação

01. B 02. C 03. D 04. B 05. B

Propostos

01. E 02. C 03. A 04. E 05. E 06. E 07. D 08. D 09. C 10. D 11. C 12. D 13. B 14. B 15. B

Seção Enem

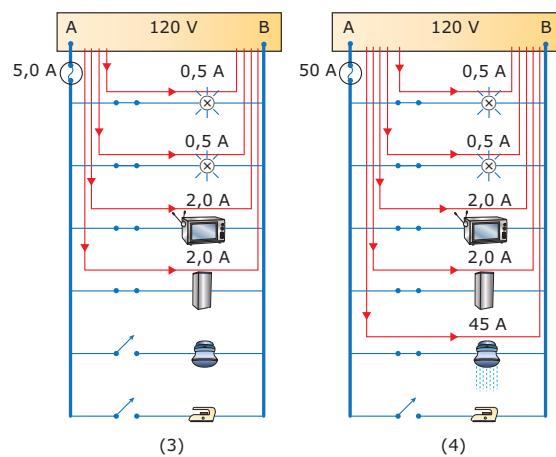
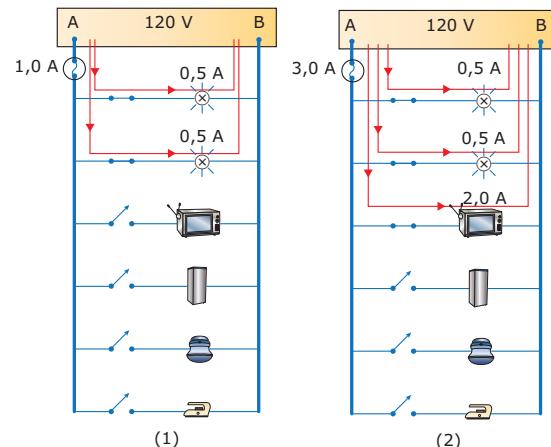
01. C 02. B

Resistores no dia a dia

CIRCUITOS ELÉTRICOS – APLICAÇÕES

A maioria das pessoas tem muito temor de eletricidade, uma tecnologia que merece respeito, mas não medo. Vamos, neste módulo, descobrir como o chuveiro pode nos fornecer água morna e quente (além de desligar de vez em quando durante o nosso banho), vamos aprender por que aquele secador de cabelos, levado de viagem a outra cidade, pode se queimar ao ser ligado e muito mais. Vamos levar o estudo da eletricidade para o nosso cotidiano.

O CIRCUITO RESIDENCIAL

No dia a dia, podemos notar que os aparelhos elétricos funcionam de forma independente uns dos outros em uma residência ou em um escritório. Além disso, a inserção ou a retirada de um ou mais deles, num circuito bem dimensionado, não afeta o funcionamento ou o desempenho dos demais. Qual deve ser a associação entre os aparelhos para que isso aconteça? Com certeza você respondeu: em paralelo. Vejamos.

Considere uma residência com apenas um circuito ligando todos os aparelhos (na prática, como veremos adiante, não é bem assim). Como se sabe, a corrente elétrica no circuito residencial é alternada, isto é, ela muda de sentido muito rapidamente. No entanto, vamos considerá-la contínua e de valor igual ao seu valor eficaz.

O circuito residencial é protegido por uma chave disjuntora (disjuntor), colocada na entrada da rede, logo após o ponto A (mostrado nos esquemas a seguir). Vamos considerar que o circuito possua um disjuntor de 60 A. Isso quer dizer que se a corrente no circuito ultrapassar 60 A o disjuntor desarmará e desligará todo o circuito.

O circuito residencial representado a seguir possui apenas duas lâmpadas de 60 W (I = 0,5 A) cada uma, um aparelho de TV de 240 W (I = 2,0 A), uma geladeira de 240 W (I = 2 A), um chuveiro de 5 400 W (I = 45 A) e um ferro de passar roupa de 1 800 W (I = 15 A). O circuito é alimentado pela companhia de energia elétrica que fornece uma tensão eficaz de 120 V entre os pontos A e B. Assim, a voltagem entre os dois fios principais do circuito (que estão entre A e B) é de 120 V.

As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os valores das correntes nos aparelhos do circuito, à medida que estes são ligados. Em (1), apenas as lâmpadas estão ligadas e a corrente eficaz que vem da fornecedora de energia é de 1,0 A (0,5 A para cada lâmpada). Com certeza você está se lembrando de que, na ligação em paralelo, os aparelhos operam de forma independente (o funcionamento de um não interfere no funcionamento do outro).

A figura (2) mostra que a TV foi ligada. Veja que ela puxa da rede uma corrente de 2,0 A, e, assim, a corrente no disjuntor passa a ser de 3,0 A.

Em certo momento, figura (3), o motor da geladeira se arma, e uma corrente de 2,0 A percorre o seu circuito. A partir daí, a corrente no disjuntor é de 5,0 A.

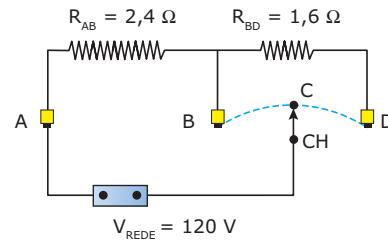
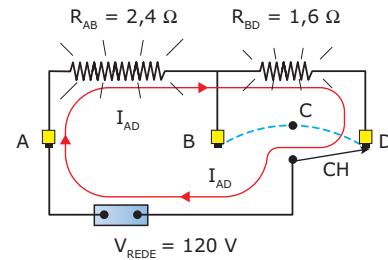
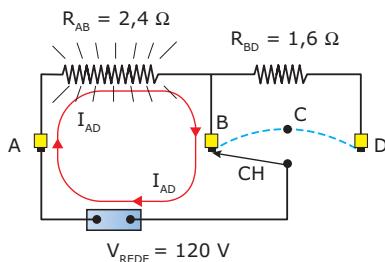
Enquanto você estava assistindo à TV, sua irmã foi tomar banho (4). O chuveiro necessita de uma corrente de 45 A e, dessa forma, a corrente total que atravessa o disjuntor é de 50 A. E, justamente nesse momento, seu irmão resolveu passar roupa. Com o funcionamento do ferro elétrico, que utiliza uma corrente de 15 A, a corrente total no disjuntor passaria para 65 A. Passaria... Mas, o que acontece? Como o disjuntor suporta 60 A no máximo, ele vai desarmar e cortar todo o fornecimento de energia para a sua casa. Lá se foram a TV e o banho quente. (Você conhece uma história parecida com essa?)

O circuito representado anteriormente está mal dimensionado. A solução seria chamar o eletricista e pedir para ele colocar um disjuntor que suporte uma corrente maior? Não. Se ele fizer isso, o disjuntor não vai mais se desarmar e, portanto, vai perder a sua função – que é a de proteger o circuito elétrico da residência. Embora a resistência dos fios (r) tenha sido desprezada até agora, ela existe, e esses fios, percorridos por correntes elevadas, também se aquecem ($P = rI^2$). Assim, o que determina o dimensionamento do disjuntor é a espessura (chamada "bitola") dos fios do circuito. Para correntes elevadas, seria necessário trocar a fiação do circuito, utilizando fios mais grossos. Esse é o principal motivo para que uma residência apresente vários circuitos independentes, cada um com a sua fiação, seu disjuntor e os aparelhos a ele ligados.

Uma sugestão importante: localize a caixa de disjuntores em sua casa e chame um amigo para lhe ajudar. Ligue todos os aparelhos simultaneamente. Desligue um disjuntor de cada vez e descubra, e, principalmente, anote na própria caixa quais aparelhos aquele disjuntor está protegendo. Assim, havendo necessidade de se desligar determinado aparelho, você vai cortar a corrente dele especificamente. Isso pode ser útil, principalmente à noite, pois não ficará sem a iluminação das lâmpadas.

ALGUNS RESISTORES IMPORTANTES

Uma aplicação muito comum do resistor é a sua utilização nos sistemas de aquecimento. Neles, o fato de o resistor apresentar uma resistência e, por meio do efeito Joule, transformar a energia elétrica em energia térmica ("calor") é desejável e é o objetivo de seu uso no aparelho em questão.

O chuveiro elétrico

O chuveiro é um equipamento bastante familiar a todos. Entretanto, como é o funcionamento do chuveiro para que possamos tomar banho com a água na temperatura desejada? Bem simples. Veja a seguir.

Dentro do chuveiro, existe um resistor, conforme mostrado na figura anterior. O resistor pode queimar e, assim, precisará ser substituído. No entanto, o que vai queimar é o resistor, e não a sua resistência! Esta não queima, pois é uma propriedade do resistor (que continua a existir nos pedaços do resistor "queimado").

Observe o resistor da figura anterior. Note que o resistor do chuveiro apresenta três bornes por onde a corrente pode circular. Vamos analisar um tipo de circuito de ligação de chuveiro bem simples, mostrado a seguir.

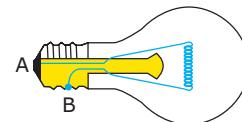
A rede elétrica fica ligada entre o ponto A e a chave seletora de temperatura. Na figura anterior, a chave (CH) está conectada ao ponto C. Observe que o circuito está aberto (uma corrente que viesse da rede pelo ponto A não teria por onde "sair", pois os pontos B ou D estão desligados da rede). Esse banho vai ser uma fria!

A chave (CH), agora, está ligada ao ponto D, e a corrente percorre os resistores R_{AB} e R_{BD}. A voltagem fornecida ao dispositivo é V_{REDE} = 120 V, e a "resistência do chuveiro" vale R_{AD} = 4,0 Ω. Logo, a corrente que percorre o aparelho é $I_{AD} = V_{AD}/R_{AD}$ = 120/4,0 = 30 A. O chuveiro dissipa, então, uma potência $P_{AD} = V^2_{REDE}/R_{AD}$ = 120²/4,0 = 3 600 W. O banho começou a esquentar!

A chave (CH), dessa vez, foi conectada ao ponto B. A corrente atravessa, apenas, o resistor R_{AB} = 2,4 Ω, que, nesse caso, é a resistência do chuveiro. Assim, $I_{AB} = V_{AB}/R_{AB}$ = 120/2,4 = 50 A. Observe que a corrente que percorre o chuveiro aumentou em relação à situação anterior. Assim, apesar de a resistência ter diminuído, a potência dissipada vai aumentar, $P_{AB} = V^2_{REDE}/R_{AB}$ = 120²/2,4 = 6 000 W. Agora vai sair fumaça!

Resumo das variáveis:

Chave (CH) na posição	C	D	B
Resistência do chuveiro	∞	4,0 Ω	2,4 Ω
Corrente que circula	0	30 A	50 A
Potência dissipada	0	3 600 W	6 000 W
Água do banho	Fria	Morna	Quente

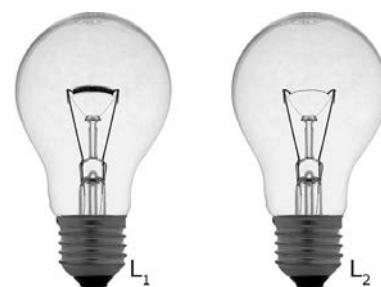
Duas considerações, no que diz respeito à água que passa através do chuveiro, merecem destaque:

- A quantidade de água que passa através do chuveiro não interfere na potência dissipada por este. Se a torneira jorra menos água, esta fica mais quente porque temos uma quantidade menor de água recebendo, a cada instante, a mesma quantidade de energia fornecida pelo chuveiro.

- Evite passar pouca água pelo chuveiro fechando a torneira para esquentar mais a água, pois ela tem a função de refrigerar o chuveiro. Se não há água suficiente, o chuveiro e a fiação que o liga à rede vão esquentar muito e podem queimar. Se o seu chuveiro está aquecendo pouco, compre outro!

É importante ressaltar que tudo o que foi dito a respeito do chuveiro vale para qualquer outro aparelho usado em aquecimento, como o forno ou fogão elétrico, o aquecedor de ambiente, o ferro de solda, o ebulidor ("mergulhão"), o ferro elétrico e outros.

A lâmpada elétrica incandescente

Sabemos do conforto que é chegar em casa, à noite, abrir a porta e ligar o interruptor de luz. Tudo fica iluminado. Porém, como isso funciona? É, também, graças ao efeito Joule.

Todo corpo emite radiação eletromagnética. Você percebe isso quando chega perto de um forno que está assando pão de queijo, por exemplo. Dependendo da temperatura em que o corpo se encontra, ele pode emitir uma radiação eletromagnética que ilumina os objetos à sua volta. É o que acontece com a lâmpada. O seu filamento, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, se aquece, fica incandescente e emite luz.

Observe, na figura anterior, que o filamento é soldado aos pontos A ("pé" da lâmpada) e B (parte metálica da rosca). Dessa forma, para que a lâmpada funcione, a corrente deve "entrar pelo pé" e "sair pela rosca" ou vice-versa. O sentido da corrente não importa, pois o filamento se aquecerá da mesma forma, independentemente do sentido dela.

Dentro do bulbo de vidro, existe um gás inerte (não reage com o metal do filamento) e de baixa densidade. Se a densidade do gás não fosse baixa, sua temperatura elevada faria a pressão dentro do bulbo atingir valores muito elevados, a ponto de "explodir" a lâmpada. A parte amarela na figura anterior é formada de material isolante e serve, apenas, para dar sustentação ao filamento e à rosca da lâmpada.

A ligação convencional, e mais usada, é a associação de lâmpadas em paralelo. Já sabemos que, em paralelo, elas são independentes umas das outras. Assim, podemos ligar e desligar quantas lâmpadas forem necessárias, sem afetar o funcionamento das demais.

Quando uma lâmpada é montada, o fabricante dimensiona o filamento, com uma resistência específica, para que ela, em funcionamento normal, emita a quantidade de luz desejada. Como temos lâmpadas de diversas potências, cada lâmpada apresenta uma resistência própria. Observe duas lâmpadas com filamentos diferentes.

Como determinar a resistência de uma lâmpada? Já sabemos que a resistência pode ser calculada de duas maneiras:

(1) $R = V/I = V^2/P$ (2) $R = \rho(L/A)$

Na última equação, a resistividade (ρ) depende do material do filamento e da temperatura, mas não das dimensões do resistor (L/A). Normalmente, os valores de resistividade são dados à temperatura ambiente. Dessa forma, o uso da equação (2) fica restrito ao cálculo da resistência da lâmpada fria, a não ser que as grandezas sejam dadas para a temperatura da lâmpada acesa.

Quando a lâmpada encontra-se em funcionamento, a temperatura do filamento pode atingir 3 000 °C, e sua resistência aumenta muito. Duas grandezas sempre estão anotadas no bulbo de uma lâmpada: a potência (60 W, por exemplo) e a tensão (127 V ou 220 V). Esses valores são chamados nominais. A voltagem nominal indica o valor de tensão a ser fornecido à lâmpada para que ela dissipe a potência que está indicada no bulbo, potência nominal. Assim, para calcular a resistência da lâmpada, em funcionamento, devemos usar a equação (1) da seguinte forma:

$$R_L = \frac{V_N^2}{P_N}$$

Aqui, V_N e P_N são os valores que vêm indicados no bulbo da lâmpada (voltagem e potência nominais). Imagine uma lâmpada com a seguinte especificação: $P_N = 60$ W e $V_N = 120$ V. A resistência de funcionamento dessa lâmpada é dada por $R_L = V_N^2/P_N = 120^2/60 = 240\ \Omega$. Vejamos o que acontece se essa lâmpada for conectada a fontes de tensão de diferentes valores. Considere que a resistência da lâmpada permaneça constante nos três casos.

1. Se $V_{REAL} = 120$ V $\rightarrow$ A lâmpada será percorrida por uma corrente $I = V_{REAL}/R_L = 120/240 = 0,50$ A e dissipará uma potência $P_{REAL} = P_{NOMINAL} = 60$ W.
2. Se $V_{Real} = 60$ V $\rightarrow$ A corrente que passa pela lâmpada será $I = V_{REAL}/R_L = 60/240 = 0,25$ A e a lâmpada estará dissipando uma potência $P_{REAL} = V^2_{REAL}/R_L = 60^2/240 = 15$ W (quarta parte da potência nominal).
3. Se $V_{Real} = 240$ V $\rightarrow$ A corrente que passaria pela lâmpada seria $I = V_{REAL}/R_L = 240/240 = 1,0$ A e a lâmpada estaria dissipando uma potência $P_{REAL} = V^2_{REAL}/R_L = 240^2/240 = 240$ W (quatro vezes a potência nominal).

Uma consideração importante deve ser feita:

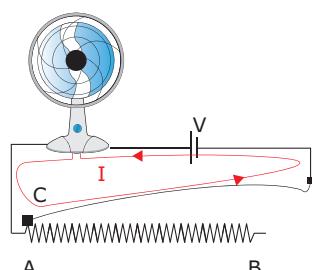
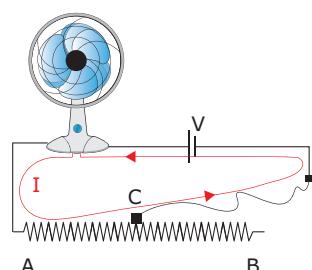
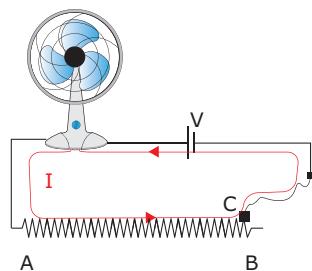
> O "brilho" de uma lâmpada incandescente está relacionado com a quantidade de energia luminosa que ela emite a cada segundo. Por isso, para comparar os "brilhos", você deve avaliar as potências realmente dissipadas pelas lâmpadas.

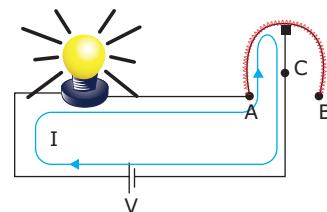
Vimos, no 2º caso ($V_{REAL} = 60$ V), que a potência dissipada pela lâmpada foi quatro vezes menor do que a potência nominal dela. Isso significa que a lâmpada terá um "brilho" bem menor do que aquele que ela apresentaria caso estivesse funcionando sob as condições nominais e vai iluminar muito pouco. Entretanto, ela não corre o risco de se queimar.

Você percebeu que, no 3º caso ($V_{REAL} = 240$ V), o verbo foi colocado no futuro do pretérito? Se a lâmpada for ligada em 240 V, ela vai fundir o filamento ("queimar") e deixar de funcionar. Por esse motivo, nenhum aparelho elétrico deve ser ligado numa voltagem acima daquela para a qual foi fabricado, sob o risco de se queimar – a não ser que ele tenha sido montado com esse objetivo.

Volte à fotografia anterior das duas lâmpadas. Nela, percebemos que o filamento da lâmpada (1) é mais grosso que o da lâmpada (2). Portanto, de acordo com a equação $R = \rho L/A$, a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2). A potência nominal de cada uma das lâmpadas pode ser calculada por $P = V^2/R$. Como a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2) e ambas estão submetidas à mesma voltagem, conclui-se que a lâmpada (1) terá maior potência que a lâmpada (2). De fato, as lâmpadas mostradas são de 100 W e 40 W, respectivamente.

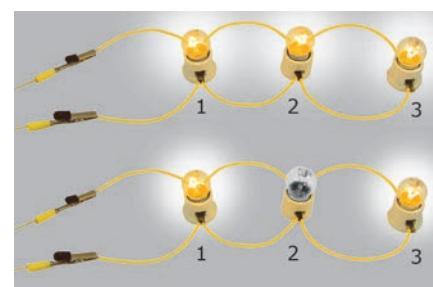
O reostato ou potenciômetro

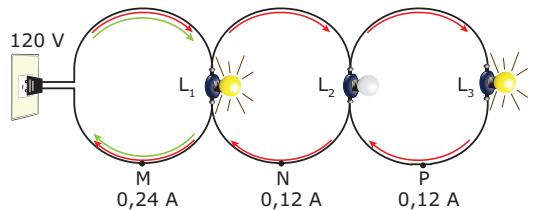
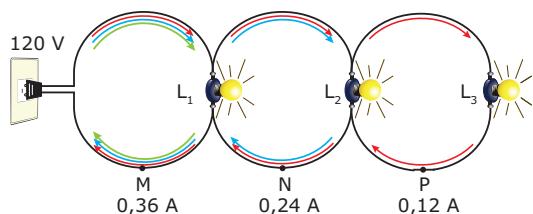
Muitas vezes, necessitamos que a corrente num circuito tenha o seu valor variado de forma contínua (analógica). Para isso, utilizamos um dispositivo chamado reostato ou potenciômetro. Esse tipo de circuito é muito usado em vários aparelhos elétricos, como o ventilador, no qual você altera, de forma contínua, a velocidade de rotação, ou o interruptor em quartos de crianças, no controle da intensidade luminosa, por exemplo.

O funcionamento do reostato é simples e baseado no fato de que a resistência varia com o comprimento do resistor a ser percorrido por uma corrente ($R \propto L$). O potenciômetro deve ser ligado em série com o aparelho cuja corrente se quer controlar (ele vai dividir a voltagem com o dispositivo – divisor de tensão).

O reostato é representado nos circuitos elétricos pelos símbolos a seguir:

Veja o esquema a seguir. No reostato deslizante, um contato (C) pode ser deslocado ao longo do dispositivo. A resistência do reostato (R_{AC}) aumenta ou diminui de acordo com a posição do contato. Seja R_v a resistência do ventilador.

A resistência total do circuito é dada por $R = R_v + R_{AC}$. Observe as três posições do contato nas figuras anteriores. Na primeira, o contato está no final do reostato (R_{AC} possui o maior valor possível), a resistência total é grande e a corrente no circuito é pequena (o ventilador gira lentamente). Na segunda figura, o contato está no meio do reostato (R_{AC} possui um valor intermediário), a corrente é maior que aquela do primeiro circuito, e a velocidade de rotação do ventilador aumenta. Na última, o contato está no início do reostato (R_{AC} possui o menor valor possível, $R_{AC} = 0$), e a corrente é grande, pois encontra, apenas, a resistência do ventilador. Nesse caso, o ventilador apresenta a maior velocidade de rotação possível. Assim, utilizando o reostato, você pode controlar a rotação do aparelho.

No reostato de rotação, você gira o contato (C) para aumentar ou diminuir a resistência do aparelho. Veja a figura a seguir. Se girar o contato (C) para a esquerda (sentido anti-horário), você diminui a resistência do reostato e a lâmpada ilumina mais. Se, ao contrário, girar o contato para a direita (sentido horário), a resistência aumenta e o brilho da lâmpada diminui. Reostatos desse tipo são utilizados em ferros elétricos e em geladeiras, nos quais a temperatura é controlada pela rotação do reostato.

Existem vários aparelhos que possuem uma chave com algumas posições que permitem que eles funcionem com maior ou menor eficiência. É o caso, por exemplo, do liquidificador e de outros eletrodomésticos. Nestes, não existe reostato. Eles possuem dois ou mais resistores ligados em série (dentro do aparelho), assim como o chuveiro elétrico.

CIRCUITOS COM LÂMPADAS INCANDESCENTES

Conforme já foi citado, o "brilho" de uma lâmpada (energia luminosa emitida por ela a cada instante) está associado à potência real dissipada por ela. Conhecer situações diversas a esse respeito e o que acontece quando uma lâmpada é inserida ou retirada de um circuito é importante.

Duas ou mais lâmpadas são idênticas se elas apresentam a mesma resistência. Isso não quer dizer, necessariamente, que as lâmpadas dissipam a mesma potência (forneçam a mesma luminosidade). Vejamos, então, algumas situações.

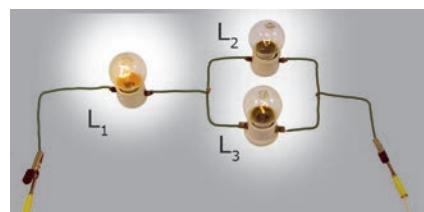
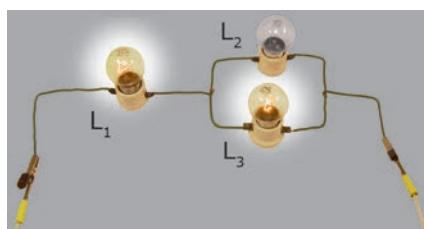
Caso 1:

Considere três lâmpadas idênticas ($R = 1\ 000\ \Omega$), associadas em paralelo e ligadas à rede elétrica de 120 V. Observe que, se a lâmpada do meio (L_2) for desligada ou se queimar, esta se apaga, e os brilhos das outras duas lâmpadas não são alterados.

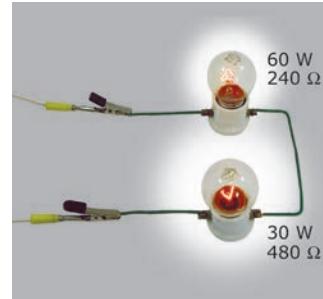
Considere a figura a seguir. Nela, a corrente em cada lâmpada é de 0,12 A. Você já sabe que, na associação em paralelo, as lâmpadas funcionam de forma independente. Assim, as correntes que passam pelos pontos M, N e P são, respectivamente, 0,36 A (corrente total), 0,24 A (corrente das lâmpadas 2 e 3) e 0,12 A (corrente da lâmpada 3), conforme mostrado a seguir.

O que acontece com as correntes nos pontos M, N e P do circuito quando a lâmpada 2 é desligada, queima ou quebra? A corrente no ponto P não sofreu qualquer alteração, uma vez que por ele passa, apenas, a corrente da lâmpada L_3 (I = 0,12 A). Entretanto, as correntes nos pontos M e N diminuirão. No ponto N, passavam as correntes das lâmpadas 2 e 3 (I = 0,24 A), e, no ponto M, as correntes das três lâmpadas (I = 0,36 A). Como a do meio é desligada, as correntes nos pontos N e M são, agora, iguais a 0,12 A e 0,24 A, respectivamente.

A potência total dissipada pelas duas lâmpadas que permaneceram no circuito é P = V.I = 120.0,24 = 28,8 W.

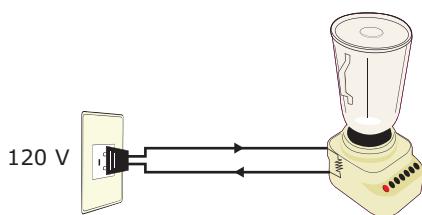
Caso 2:

Sejam duas lâmpadas idênticas, as mesmas da associação anterior, ligadas em série e conectadas a uma fonte de tensão (a mesma da ligação anterior). Perceba, primeiro, que o brilho delas é muito menor do que no caso 1. Agora houve uma divisão da voltagem da fonte de tensão entre as duas lâmpadas. A resistência total delas é R = 2 000 Ω, e a potência total dissipada por elas é $P = 120^2/2\ 000 = 7{,}2$ W (quatro vezes menor que do caso 1).

Observe que, se qualquer uma das lâmpadas for desligada do circuito, queimar ou quebrar, a corrente ficará impedida de passar por ela (existe um único caminho para ela circular) e nenhuma das lâmpadas acenderá.

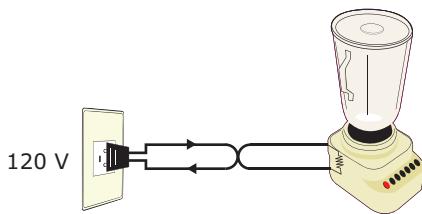
Caso 3:

Veja um circuito simples, mas importante, de três lâmpadas idênticas (R_L = 1 000 Ω) associadas em circuito misto e ligadas à rede elétrica de 120 V.

Observe que a lâmpada L_1 ilumina mais que as outras duas lâmpadas juntas. A resistência total desse circuito é R = 1 500 Ω, e a corrente total é I = 0,08 A. Assim, a corrente na lâmpada L_1 é 0,08 A e nas lâmpadas L_2 e L_3 é $I_2 = I_3 = 0{,}04$ A. Vamos calcular as potências utilizando a equação $P = RI^2$. As potências de L_2 e L_3 são $P_2 = P_3 = 1\ 000(0{,}04)^2 = 1{,}6$ W (a potência total de L_2 e L_3 será $P_{23} = 3{,}2$ W). A potência da lâmpada L_1 é $P_1 = 1\ 000(0{,}08)^2 = 6{,}4$ W, maior que a potência total de L_2 e L_3. Veja o que acontece se a lâmpada L_2, por exemplo, queimar ou for retirada do circuito.

Você percebeu que o brilho da lâmpada L_3 aumentou e que o brilho da lâmpada L_1 diminuiu? Vejamos por que isso aconteceu. Observe que, agora, a resistência total do circuito é R = 2 000 Ω (as duas lâmpada ficaram em série). A corrente nas lâmpadas é I = 0,06 A, e a potência de cada uma delas é $P = 1\ 000(0{,}06)^2 = 3{,}6$ W. Assim, a potência da lâmpada L_1 diminuiu e a da lâmpada L_3 aumentou.

Caso 4:

Considere duas lâmpadas de potências diferentes. As características nominais das lâmpadas são: L_1 (60 W, 120 V e 240 Ω) e L_2 (30 W, 120 V e 480 Ω). As lâmpadas L_1 e L_2 são ligadas em série e conectadas à rede (V = 120 V).

O circuito é um divisor de tensão. Como $R_2 = 2R_1$, temos que $V_2 = 2V_1 \Rightarrow V_1 = 40$ V e $V_2 = 80$ V. As potências reais das lâmpadas podem ser calculadas por $P = V^2/R$. Assim, $P_1 = 40^2/240 \cong 6{,}67$ W e $P_2 = 80^2/480 \cong 13{,}3$ W. Ou seja, a lâmpada de menor potência nominal está dissipando a maior potência real (brilha mais).

O CURTO-CIRCUITO

Dizemos que um resistor está em curto-circuito se as suas extremidades estiverem no mesmo potencial elétrico. Quando isso acontece, não há diferença de potencial (tensão) entre tais pontos e, assim, não existe corrente passando pelo resistor.

O curto-circuito é obtido conectando-se os terminais do resistor (ou da associação de resistores) um ao outro ou ligando-se um fio de resistência desprezível a tais pontos. Vejamos um exemplo de cada situação.

Considere um circuito formado por um liquidificador, pelos fios de ligação e pela tomada de energia da rede elétrica de uma residência. A resistência do circuito é formada pela soma das resistências do liquidificador (grande) e dos fios de ligação (pequena) – os fios estão em série com o aparelho. Nesse caso, a potência dissipada no circuito será $P = V^2/(R_L + R_F)$.

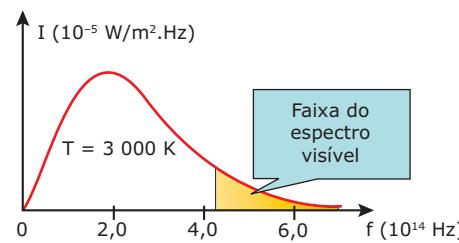
Se os fios que alimentam o liquidificador fazem contato um com o outro (por exemplo, se o plástico em volta dos fios derreter), eles fecham um curto-circuito nesse ponto. A corrente vai passar por um circuito mais "curto" – apenas nos fios de ligação, conforme mostrado a seguir.

Nessa situação, a corrente elétrica e a potência dissipada no circuito serão muito altas, pois a resistência do circuito é apenas a dos fios. Dessa forma, pode acontecer de o curto-circuito causar incêndio nos fios do liquidificador e nos fios da rede elétrica da casa. Muito cuidado com isso!

Outra situação em que pode ocorrer um curto-circuito está mostrada a seguir. Veja que as duas lâmpadas estão associadas em série e conectadas à rede elétrica. Se os terminais de uma das lâmpadas forem curto-circuitados por um fio de resistência desprezível, essa lâmpada não vai ser percorrida pela corrente elétrica e, dessa forma, apenas a outra lâmpada vai permanecer acesa.

O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com certeza você tem acompanhado as notícias sobre os problemas climáticos, sobre a possibilidade de redução da atividade econômica por questões de dependência energética e sobre a busca de fontes energéticas alternativas, economicamente viáveis e ecologicamente corretas. Agora, mais do que nunca, existe a necessidade urgente de se economizar energia em todas as suas formas. E essa é uma atitude ao alcance de todos nós. Basta uma mudança nos pequenos hábitos do nosso dia a dia, que não afetarão, significativamente, nosso conforto e nossa segurança.

Veja, a seguir, algumas maneiras de contribuir para a redução do consumo de energia.

1. Tenha o costume de desligar todas as lâmpadas e todos os aparelhos elétricos (TV, por exemplo) quando sair de um ambiente. Há muita gente que deixa as "paredes" assistirem à televisão.
2. Quando sair de casa, desconecte da rede elétrica os aparelhos que podem ser desligados.
3. Evite sobrecarregar a geladeira, remova o gelo do congelador semanalmente e abra a porta da geladeira apenas quando for necessário, fechando-a novamente o mais rápido possível (a geladeira é um dos aparelhos que mais consomem energia em uma residência).
4. Procure reduzir o tempo do seu banho ou feche a torneira enquanto estiver se ensaboando (o desperdício de água também merece a nossa atenção).

Tais atitudes exigem um compromisso diário para a sua realização. Pode parecer pouco, mas, se todos fizerem sua parte, os problemas energéticos do mundo podem ser minimizados.

Além das mudanças de hábito citadas anteriormente, podemos tomar outras atitudes que contribuam para a economia de energia e que não exigem ação diária. Veja a seguir.

Lâmpada incandescente x lâmpada fluorescente

A lâmpada incandescente comum, a mais utilizada pela população na iluminação residencial e comercial, tem uma eficiência energética muito pequena. O gráfico a seguir mostra, de forma aproximada, o espectro de emissão de um corpo aquecido, à temperatura de 3 000 K (temperatura média do filamento da lâmpada incandescente em funcionamento normal). Observe que apenas uma pequena parcela da energia emitida pela lâmpada (cerca de 10% a 20%) é convertida em luz visível, e o restante dessa energia é dissipada na forma de calor radiante (infravermelho). Por esse motivo, a eficiência energética da lâmpada incandescente é pequena.

Veja a figura seguinte, que mostra uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente compacta.

Vamos comparar as características de uma lâmpada incandescente de 60 W com as características de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W. Os valores técnicos foram obtidos nas embalagens das lâmpadas citadas.

	Incandescente	Fluorescente
Potência nominal	60 W	15 W
Eficiência luminosa (quantidade de luz emitida)	778 lúmens	1 059 lúmens
Energia consumida (6 horas/dia – 01 ano)	131 kWh	33 kWh
Custo anual médio	R$ 83,00	R$ 21,00
Expectativa média de vida útil	06 meses	04 anos
Preço médio no mercado	R$ 2,00	R$ 8,00

Veja que a lâmpada fluorescente custa, em média, quatro vezes mais. Porém, ilumina 36% a mais que a lâmpada incandescente, possui uma vida útil, em média, oito vezes maior e o seu custo energético anual é, aproximadamente, quatro vezes menor. Diante do exposto, cabe a você decidir pela troca das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes. O planeta agradece o seu ato de sensatez!

Um alerta importante: compre lâmpadas de fabricantes confiáveis. Uma pequena economia, com produtos de procedência duvidosa, não compensa o risco à sua saúde.

Chuveiro de 127 V x 220 V (ou 220 V x 380 V)

Conforme vimos no estudo sobre corrente elétrica, a rede elétrica residencial apresenta tensões de 127 V (fase-neutro) e 220 V (fase-fase). Em algumas cidades, tais valores são, respectivamente, 220 V e 380 V. Em estudos anteriores, vimos, também, que os fios de ligação, na realidade, possuem uma pequena resistência. Assim, se a corrente que os percorre é alta, eles aquecem muito (consumo de energia desnecessário e perigoso) e provocam uma queda de tensão significativa na própria fiação. Dessa maneira, uma forma de minimizar a energia desperdiçada seria trocar o resistor do chuveiro por um de maior resistência e aumentar a tensão de alimentação do chuveiro para 220 V (ou 380 V, conforme a cidade). Veja o exercício resolvido a seguir.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Renata possui em sua residência um chuveiro de 4 800 W, com a chave seletora na posição inverno. Todos os aparelhos elétricos em sua casa apresentam tensão nominal de 120 V. Ela dispõe de tensões de alimentação de 120 V (fase-neutro) e de 240 V (fase-fase). Sempre que o chuveiro é ligado, as lâmpadas do escritório, ligadas no mesmo circuito que o chuveiro, diminuem a intensidade luminosa emitida. Para resolver o problema, ela foi aconselhada a mudar a instalação do chuveiro para 240 V.

A) Determinar a corrente que percorre o chuveiro e a sua resistência nas condições atuais de funcionamento.

B) O eletricista troca o resistor do chuveiro e o instala em 240 V. Determinar, nesse caso, a nova resistência do chuveiro e a corrente que o percorre, de modo que, quando na posição inverno, ele continue com a potência de 4 800 W.

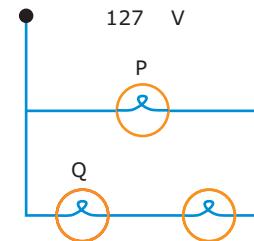
C) Explicar por que as lâmpadas do escritório podem não mais alterar a intensidade luminosa quando o chuveiro for ligado nessa nova situação.

Resolução:

A) A corrente elétrica e a resistência do chuveiro, nas condições atuais de funcionamento, são dadas por:

$I = P/V \Rightarrow I = 4\,800/120 = 40$ A

$R = V/I = 120/40 = 3{,}0\ \Omega$

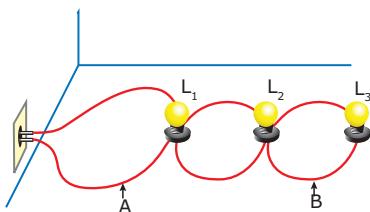
B) A resistência do chuveiro e a corrente elétrica, na nova situação, são:

$R = V^2/P \Rightarrow R = 240^2/4\,800 = 12\ \Omega$

$I = V/R \Rightarrow I = 240/12 = 20$ A

C) O valor da corrente que percorre o chuveiro foi reduzido à metade. Assim, a queda de tensão na fiação da casa diminuiu, o que permite maior tensão de alimentação para as lâmpadas, fazendo com que estas não mais alterem sua intensidade luminosa e evitando o desperdício de energia.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFMG–2006) Aninha ligou três lâmpadas idênticas à rede elétrica de sua casa, como mostrado nesta figura:

Seja V_P a diferença de potencial e i_P a corrente na lâmpada P. Na lâmpada Q, essas grandezas são, respectivamente, V_Q e i_Q.
Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) $V_P < V_Q$ e $i_P > i_Q$.

B) $V_P > V_Q$ e $i_P > i_Q$.

C) $V_P < V_Q$ e $i_P = i_Q$.

D) $V_P > V_Q$ e $i_P = i_Q$.

02. (UFG) Considere um chuveiro cuja chave seletora de temperatura alterna-se entre as posições "Inverno" (água quente) e "Verão" (água morna). A corrente máxima nesse chuveiro é 20 A, e a diferença de potencial (d.d.p.) da rede elétrica local é 220 V. Assim, marque (**V**) para as afirmativas **VERDADEIRAS** e (**F**) para as **FALSAS**.

( ) Com o chuveiro em funcionamento, a potência máxima dissipada é 4 400 W.

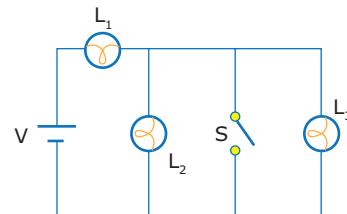
( ) Com a chave na posição "Inverno", para um banho quente de 15 minutos, o consumo de energia elétrica é 1,1 kWh.

( ) Se a d.d.p. da rede elétrica for reduzida à metade, mantendo-se constante a vazão de água que sai do chuveiro, a variação de temperatura da água diminuirá na mesma proporção.

( ) O valor da resistência elétrica é menor com a chave na posição "Verão".

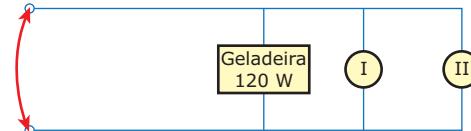
03. (UFMG) A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto A do fio é i_A, e no ponto B é i_B.

Em um determinado instante, a lâmpada L_2 se queima. Pode-se afirmar que

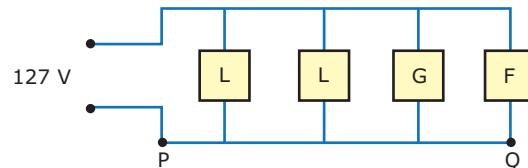
A) a corrente i_A se altera, e i_B não se altera.
B) a corrente i_A não se altera, e i_B se altera.
C) as duas correntes se alteram.
D) as duas correntes não se alteram.

04. (UFRRJ) Numa residência, são utilizados, eventualmente, diversos aparelhos elétricos cujas potências estão indicadas no quadro a seguir:

Dispositivo	Potência (W)
Bomba-d'água	950
Geladeira	350
20 lâmpadas	60 (cada)
Televisão	150
Chuveiro	3 000
Ferro de passar	1 100

A residência é alimentada com uma diferença de potencial de 220 V e está instalado um fusível de 25 A. O fusível se queimará se forem utilizados, simultaneamente,

A) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e ferro de passar.
B) bomba-d'água, geladeira, chuveiro e ferro de passar.
C) geladeira, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e chuveiro.
D) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, chuveiro e ferro de passar.
E) 20 lâmpadas de 60 W, televisão, chuveiro e ferro de passar.

05. (UFC) Três lâmpadas, L_1, L_2 e L_3, são alimentadas por uma bateria ideal V, conforme mostra a figura. As três lâmpadas estão acesas. Quando a chave S é fechada, o resultado esperado está indicado na opção:

A) L_1, L_2 e L_3 permanecem acesas.
B) L_1 e L_2 permanecem acesas.
C) L_1 permanece acesa, mas L_2 e L_3 se apagam.
D) L_1 e L_3 se apagam, mas L_2 permanece acesa.
E) As três lâmpadas se apagam.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFF-RJ) A figura a seguir mostra o esquema elétrico de um dos circuitos da cozinha de uma casa, no qual está ligada uma geladeira, de potência especificada na própria figura. Em cada uma das tomadas I e II, pode ser ligado apenas um eletrodoméstico de cada vez. Os eletrodomésticos que podem ser usados são: um micro-ondas (120 V – 900 W), um liquidificador (120 V – 200 W), uma cafeteira (120 V – 600 W) e uma torradeira (120 V – 850 W).

Quanto maior a corrente elétrica suportada por um fio, maior é seu preço. O fio, que representa a escolha mais econômica possível para esse circuito, deverá suportar, entre as opções a seguir, uma corrente de

A) 5 A.
B) 10 A.
C) 15 A.
D) 20 A.
E) 25 A.

02. (UFMG) O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:

Nessa cozinha, há duas lâmpadas L, uma geladeira G e um forno elétrico F. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos P e Q, indicados na figura, são, respectivamente, i_P e i_Q. Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento. Considerando-se essa nova situação, é **CORRETO** afirmar que

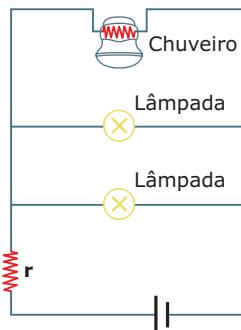
A) i_P e i_Q se alteram.
B) apenas i_P se altera.
C) i_P e i_Q não se alteram.
D) apenas i_Q se altera.

03. (FCMMG) A seguir, são listados quatro dispositivos residenciais acompanhados de suas especificações elétricas:

I. Lâmpada de 200 W – 127 V;

II. Geladeira de 400 W – 127 V;

III. Ebulidor de 1 000 W – 127 V;

IV. Chuveiro de 5 000 W – 127 V.

Qual(is) dos dispositivos relacionados pode(m) ser instalado(s) em uma residência, sem riscos de provocar incêndio, se os fios usados suportam uma corrente máxima de 5 A?

A) Apenas I

B) Apenas I e II

C) Apenas I, II e III

D) Todos

04. (UDESC–2008) Em Santa Catarina, as residências recebem energia elétrica da distribuidora Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A. (CELESC), com tensão de 220 V, geralmente por meio de dois fios que vêm da rede externa. Isso significa que as tomadas elétricas, nas residências, têm uma diferença de potencial de 220 V. Considere que as lâmpadas e os eletrodomésticos comportam-se como resistências. Pode-se afirmar que, em uma residência, a associação de resistências e a corrente elétrica são, respectivamente,

A) em série; igual em todas as resistências.

B) em série; dependente do valor de cada resistência.

C) mista (em paralelo e em série); dependente do valor de cada resistência.

D) em paralelo; independente do valor de cada resistência.

E) em paralelo; dependente do valor de cada resistência.

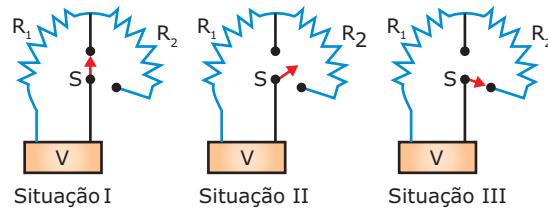
05. (UFF-RJ–2008) Em residências antigas, era comum que todos os eletrodomésticos fossem ligados a um único circuito elétrico, em geral, montado com fios de ligação finos. Um modelo desse tipo de circuito está esquematizado na figura a seguir, em que **r** representa a resistência total dos fios de ligação. Ao ligar eletrodomésticos com resistência baixa, como chuveiros elétricos, percebia-se uma diminuição no brilho das lâmpadas. Marque a alternativa que justifica tal diminuição no brilho das lâmpadas.

A) A corrente total no circuito diminui, fazendo com que a diferença de potencial (d.d.p.) aplicada às lâmpadas diminua e, portanto, a corrente através delas seja menor.

B) Embora a diferença de potencial (d.d.p.) nas lâmpadas permaneça a mesma, a corrente total no circuito diminui, diminuindo assim a corrente nas lâmpadas.

C) A corrente total no circuito permanece a mesma, mas como a maior parte dela passa através do chuveiro, sobra menos corrente para as lâmpadas.

D) A corrente total no circuito aumenta, aumentando assim a resistência das lâmpadas, o que diminui a corrente através delas.

E) A corrente total no circuito aumenta, causando maior queda de potencial através de r e diminuindo assim a diferença de potencial (d.d.p.) e a corrente nas lâmpadas.

06. (UNIPAC-MG) Um chuveiro, geralmente, tem uma chave para ajustar a temperatura do banho conforme a estação do ano. Sobre esse tipo de chuveiro, afirma-se:

I. Ao mudar a posição da chave para "Verão", a temperatura do banho é menor, pois nessa posição a resistência elétrica é menor.

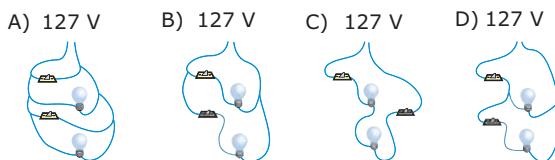
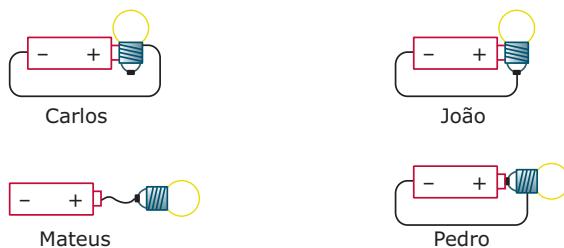
II. Na posição "Inverno", o banho é mais quente, pois nesse aquecimento, de acordo com o efeito Joule, quanto menor a resistência, maior será a dissipação de energia.

III. Tanto na posição "Verão" quanto na posição "Inverno", a temperatura do banho depende da vazão da água.

IV. A posição da chave altera a temperatura do banho, pois permite variar a diferença de potencial aplicada à resistência do chuveiro.

Assinale a opção que apresenta as afirmativas **VERDADEIRAS**.

A) I e II C) II e III E) III e IV

B) I e III D) II e IV

07. (EFOA-MG) O circuito elétrico de um chuveiro comum consiste de duas resistências (R_1 e R_2) e uma chave (S), ligadas a uma fonte de tensão (V). A posição da chave S pode ser ajustada em uma das três situações ilustradas a seguir, a fim de permitir, em cada caso, uma diferente temperatura da água do banho.

Os banhos correspondentes às situações I, II e III são, respectivamente,

A) frio, quente e morno.

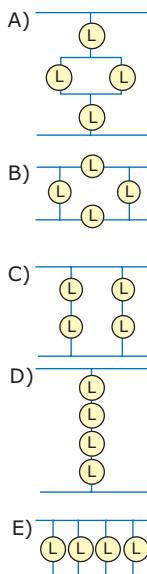
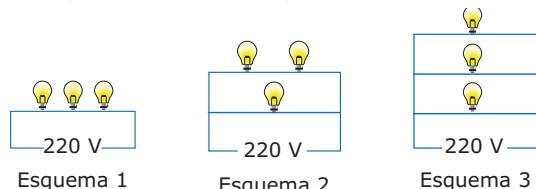
B) morno, quente e frio.

C) quente, frio e morno.

D) quente, morno e frio.

E) morno, frio e quente.

08. (UFMG) Na sala da casa de Marcos, havia duas lâmpadas que eram ligadas / desligadas por meio de um único interruptor. Visando a economizar energia elétrica, Marcos decidiu instalar um interruptor individual para cada lâmpada. Assinale a alternativa em que está representada uma maneira **CORRETA** de se ligarem os interruptores e as lâmpadas, de modo que cada interruptor acenda e apague uma única lâmpada.

A) 127 V B) 127 V C) 127 V D) 127 V

09. (UFMG–2010) Um professor pediu a seus alunos que ligassem uma lâmpada a uma pilha com um pedaço de fio de cobre. Nestas figuras, estão representadas as montagens feitas por quatro estudantes:

Considerando-se essas quatro ligações, é **CORRETO** afirmar que a lâmpada vai acender apenas

A) na montagem de Mateus.

B) na montagem de Pedro.

C) nas montagens de João e Pedro.

D) nas montagens de Carlos, João e Pedro.

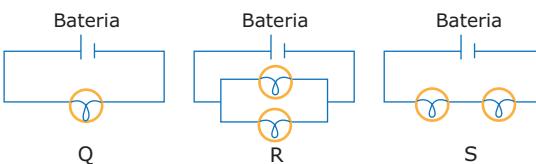
10. (FUVEST-SP) Quatro lâmpadas idênticas L, de 110 V, devem ser ligadas a uma fonte de 220 V a fim de produzir, sem queimar, a maior claridade possível. Qual a ligação **MAIS** adequada?

A)

B)

C)

D)

E)

11. (PUC RS–2006) Um eletricista tem uma tarefa para resolver: precisa instalar três lâmpadas, cujas especificações são 60 W e 110 V, em uma residência onde a tensão é 220 V. A figura a seguir representa os três esquemas considerados por ele.

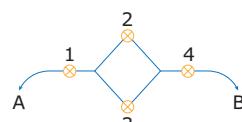
Analisando os elementos da figura, é **CORRETO** concluir que, no esquema

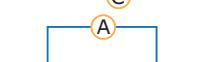
A) 1, todas as lâmpadas queimarão.

B) 2, duas lâmpadas queimarão, e a outra terá seu brilho diminuído.

C) 3, todas as lâmpadas terão seu brilho diminuído.

D) 1, só uma das lâmpadas queimará, e as outras não acenderão.

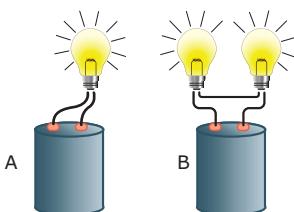
E) 2, duas lâmpadas exibirão brilho normal.

12. (UFMG–2007) Em uma experiência, Nara conecta lâmpadas idênticas a uma bateria de três maneiras diferentes, como representado nestas figuras:

Considere que, nas três situações, a diferença de potencial entre os terminais da bateria é a mesma, e os fios de ligação têm resistência nula. Sejam P_Q, P_R e P_S os brilhos correspondentes, respectivamente, às lâmpadas Q, R e S. Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) $P_Q > P_R$ e $P_R = P_S$.

B) $P_Q = P_R$ e $P_R > P_S$.

C) $P_Q > P_R$ e $P_R > P_S$.

D) $P_Q < P_R$ e $P_R = P_S$.

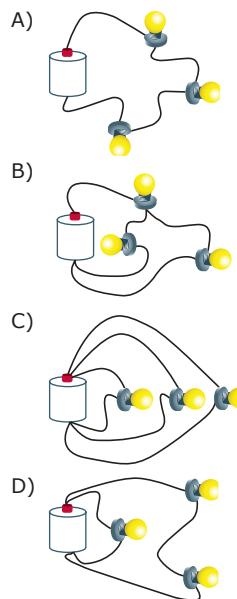
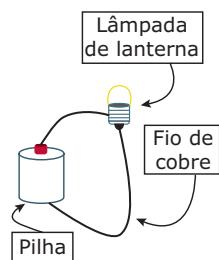
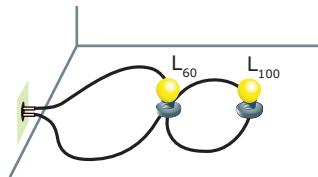
13. (UFMS–2006) As quatro lâmpadas idênticas, representadas na figura, acendem quando os extremos A e B do circuito são ligados a uma fonte de tensão constante. Queimada a lâmpada 3, é **CORRETO** afirmar:

A) As lâmpadas 1, 2 e 4 tornam-se mais brilhantes.

B) As lâmpadas 1, 2 e 4 permanecem com o mesmo brilho.

C) As lâmpadas ficam com brilhos desiguais, sendo que a 1 é a mais brilhante.

D) As lâmpadas 1 e 4 irão brilhar menos, e a lâmpada 2 irá brilhar mais do que quando a lâmpada 3 não está queimada.

E) Ficam com intensidades desiguais, sendo que a 1 torna-se mais brilhante do que quando a lâmpada 3 não está queimada.

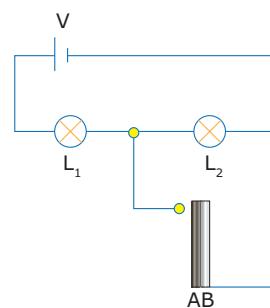
14. (UFMG) Três lâmpadas A, B e C estão ligadas a uma bateria de resistência interna desprezível. Ao se "queimar" a lâmpada A, as lâmpadas B e C permanecem acesas com o mesmo brilho de antes. A alternativa que indica o circuito em que isso poderia acontecer é

15. (PUC Rio) Considere duas situações. Na situação A, uma lâmpada é conectada a uma bateria, e, na situação B, duas lâmpadas iguais são conectadas em série à mesma bateria. Comparando-se as duas situações, na situação B, a bateria provê

A) a mesma luminosidade.
B) maior corrente.
C) menor corrente.
D) maior luminosidade.
E) menor voltagem.

16. (UFMG–2006) Uma menina, ao brincar com fios de cobre, lâmpadas de lanterna e uma pilha, observou que poderia acender uma das lâmpadas ligando-a à pilha, como no desenho a seguir. Ela, então, ligou três lâmpadas à pilha de tal modo que obteve máxima iluminação. Sabe-se que, quanto maior for a corrente elétrica que passa por uma lâmpada, maior será a quantidade de luz emitida a cada segundo, ou seja, maior será a sua iluminação. Assinale a alternativa em que se encontra representada a ligação que poderia ter sido feita pela menina.

A)

B)

C)

D)

17. (UFMG) Duas lâmpadas – L_{60} e L_{100} – são ligadas a uma tomada, como representado na figura. A lâmpada L_{60} é de 60 W e a L_{100} é de 100 W. Sejam V_{60} a diferença de potencial e I_{60} a corrente elétrica na lâmpada L_{60}. Na lâmpada L_{100}, esses valores são, respectivamente, V_{100} e I_{100}. Considerando-se essa situação, é **CORRETO** afirmar que

A) $V_{60} < V_{100}$ e $I_{60} < I_{100}$.
B) $V_{60} < V_{100}$ e $I_{60} = I_{100}$.
C) $V_{60} = V_{100}$ e $I_{60} < I_{100}$.
D) $V_{60} = V_{100}$ e $I_{60} > I_{100}$.

18. (UFPel-RS–2006) Considere que L_1 e L_2 são duas lâmpadas iguais que inicialmente apresentam o mesmo brilho. Quando a lâmina bimetálica aquece e enverga, fecha-se o circuito. Quando o circuito é fechado, é **CORRETO** afirmar que

A) a lâmpada L_1 aumenta seu brilho, enquanto a lâmpada L_2 não acende.
B) as lâmpadas L_1 e L_2 diminuem o brilho.
C) a lâmpada L_1 não acende, e a L_2 aumenta o brilho.
D) as lâmpadas L_1 e L_2 aumentam o brilho.
E) as lâmpadas L_1 e L_2 permanecem com o mesmo brilho.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2010) Observe a tabela seguinte. Ela traz especificações técnicas constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica.

Modelo		Torneira			
Tensão nominal (volts)		127		220	
Potência nominal (watts)	Frio	Desligado			
	Morno	2 800	3 200	2 800	3 200
	Quente	4 500	5 500	4 500	5 500
Corrente nominal (Ampères)		35,4	43,3	20,4	25,0
Fiação mínima (Até 30 m)		6 mm^2	10 mm^2	4 mm^2	4 mm^2
Fiação mínima (Acima 30 m)		10 mm^2	16 mm^2	6 mm^2	6 mm^2
Disjuntor (ampères)		40	50	25	30

Disponível em: <http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/-Manual_Torneira_Suprema_roo.pdf>.

Considerando que o modelo de maior potência da versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente conectado a uma rede com tensão nominal de 127 V, e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua máxima potência, qual o valor aproximado da potência ao ligar a torneira?

A) 1 830 W
B) 2 800 W
C) 3 200 W
D) 4 030 W
E) 5 500 W

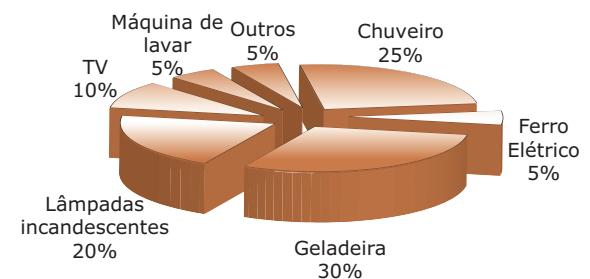
02. (Enem–2002) Entre as inúmeras recomendações dadas para a economia de energia elétrica em uma residência, destacamos as seguintes:

- Substitua lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.
- Evite usar o chuveiro elétrico com a chave na posição "inverno" ou "quente".
- Acumule uma quantidade de roupa para ser passada a ferro elétrico de uma só vez.
- Evite o uso de tomadas múltiplas para ligar vários aparelhos simultaneamente.
- Utilize, na instalação elétrica, fios de diâmetros recomendados às suas finalidades.

A característica comum a todas essas recomendações é a proposta de economizar energia através da tentativa de, no dia a dia, reduzir

A) a potência dos aparelhos e dispositivos elétricos.
B) o tempo de utilização dos aparelhos e dispositivos.
C) o consumo de energia elétrica convertida em energia térmica.
D) o consumo de energia térmica convertida em energia elétrica.
E) o consumo de energia elétrica através de correntes de fuga.

03. (Enem–1999) Lâmpadas incandescentes são normalmente projetadas para trabalhar com a tensão da rede elétrica em que serão ligadas. Em 1997, contudo, lâmpadas projetadas para funcionar com 127 V foram retiradas do mercado e, em seu lugar, colocaram-se lâmpadas concebidas para uma tensão de 120 V. Segundo dados recentes, essa substituição representou uma mudança significativa no consumo de energia elétrica para cerca de 80 milhões de brasileiros que residem nas regiões em que a tensão da rede é de 127 V.

A tabela a seguir apresenta algumas características de duas lâmpadas de 60 W, projetadas, respectivamente, para 127 V (antiga) e 120 V (nova), quando ambas encontram-se ligadas numa rede de 127 V.

Lâmpada (projeto original)	Tensão da rede elétrica	Potência medida (watt)	Luminosidade medida (lúmens)	Vida útil média (horas)
60 W – 127 V	127 V	60	750	1 000
60 W – 120 V	127 V	65	920	452

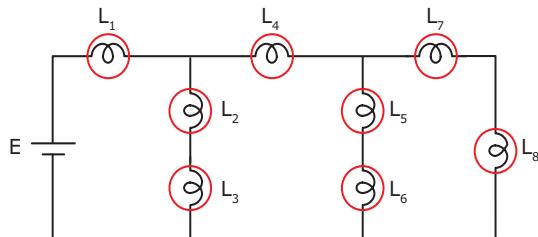
Acender uma lâmpada de 60 W e 120 V em um local onde a tensão na tomada é de 127 V, comparativamente a uma lâmpada de 60 W e 127 V no mesmo local, tem como resultado

A) mesma potência, maior intensidade de luz e maior durabilidade.
B) mesma potência, maior intensidade de luz e menor durabilidade.
C) maior potência, maior intensidade de luz e maior durabilidade.
D) maior potência, maior intensidade de luz e menor durabilidade.
E) menor potência, menor intensidade de luz e menor durabilidade.

Instrução: Gráfico para as questões **04** e **05**

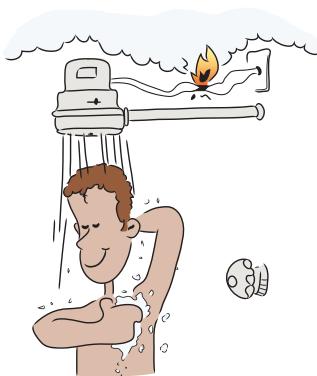
A distribuição média, por tipo de equipamento, do consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é apresentada no gráfico a seguir.

04. (Enem–2001) Em associação com os dados do gráfico, considere as variáveis:

I. Potência do equipamento.
II. Horas de funcionamento.
III. Número de equipamentos.

O valor das frações percentuais do consumo de energia depende de

A) I, apenas.
B) II, apenas.
C) I e II, apenas.
D) II e III, apenas.
E) I, II e III.

05. (Enem–2001) Como medida de economia, em uma residência com 4 moradores, o consumo mensal médio de energia elétrica foi reduzido para 300 kWh. Se essa residência obedece à distribuição dada no gráfico, e se nela há um único chuveiro de 5 000 W, pode-se concluir que o banho diário de cada morador passou a ter uma duração média, em minutos, de

A) 2,5.
B) 5,0.
C) 7,5.
D) 10,0.
E) 12,0.

06. (Enem–2009) Considere a seguinte situação hipotética: ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes que tinham igual brilho, e os demais, sob luzes de menor brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos, que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes com a mesma especificação (L_1 a L_8), interligadas em um circuito com uma bateria, conforme mostra a figura.

Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar os três atores?

A) L_1, L_2 e L_3
B) L_2, L_3 e L_4
C) L_2, L_5 e L_7
D) L_4, L_5 e L_6
E) L_4, L_7 e L_8

07. (Enem–2010) Quando ocorre um curto-circuito em uma instalação elétrica, como na figura, a resistência elétrica total do circuito diminui muito, estabelecendo nele uma corrente muito elevada.

O superaquecimento da fiação, devido a esse aumento da corrente elétrica, pode ocasionar incêndios, que seriam evitados instalando-se fusíveis e disjuntores que interrompem essa corrente, quando a mesma atinge um valor acima do especificado nesses dispositivos de proteção.

Suponha que um chuveiro instalado em uma rede elétrica de 110 V, em uma residência, possua três posições de regulagem da temperatura da água. Na posição verão, utiliza 2 100 W, na posição primavera, 2 400 W, e na posição inverno, 3 200 W.

GREF. *Física 3*: Eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993 (Adaptação).

Deseja-se que o chuveiro funcione em qualquer uma das três posições de regulagem da temperatura, sem que haja riscos de incêndio. Qual deve ser o valor mínimo adequado do disjuntor a ser utilizado?

A) 40 A
B) 30 A
C) 25 A
D) 23 A
E) 20 A

GABARITO

Fixação

01. B
02. V V F F
03. A
04. D
05. C

Propostos

01. D	05. E	09. C	13. D	17. C
02. B	06. C	10. C	14. C	18. A
03. B	07. C	11. E	15. C	
04. E	08. B	12. B	16. C	

Seção Enem

01. A
02. C
03. D
04. E
05. C
06. B
07. B

FÍSICA

MÓDULO 09 FRENTE D

Instrumentos de medidas elétricas

Até aqui, estudamos a tensão, a corrente e a resistência elétrica. Aprendemos alguns princípios e relações entre essas grandezas e os usamos para resolver muitos problemas de circuitos elétricos. Agora, vamos tratar especificamente da medição dessas três grandezas elétricas. As medições de corrente, tensão e resistência elétrica são realizadas por meio de instrumentos de medidas elétricas denominados de amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente.

Iniciaremos este módulo discutindo os procedimentos básicos para realizar medições de corrente e tensão elétrica por meio de amperímetros e voltímetros. Depois, veremos os procedimentos para medir a resistência por meio de ohmímetros. Veremos ainda que a determinação da resistência pode ser feita indiretamente, por meio de medições simultâneas de corrente e de tensão, utilizando amperímetros e voltímetros, respectivamente. Na parte final do módulo, analisaremos um importante circuito usado em medições elétricas de precisão, a ponte de Wheatstone.

MEDIÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA

Para medir a corrente que passa por um elemento de um circuito elétrico (um resistor, por exemplo), basta inserir um amperímetro em série com esse elemento, de forma que ambos sejam percorridos pela mesma corrente elétrica. Como o amperímetro possui certa resistência elétrica, a resistência equivalente do circuito aumenta um pouco, e a corrente torna-se um pouco menor quando esse instrumento é inserido no circuito. Idealmente, a resistência do amperímetro deveria ser ínfima, de modo a provocar uma redução insignificante no valor da corrente a ser medida. Todavia, desde que a resistência do amperímetro seja pequena comparada à resistência do elemento, a leitura de corrente indicada pelo instrumento será muito próxima do valor real. A seguir, apresentamos um exemplo para ilustrar isso.

Considere a figura 1, que mostra um circuito elétrico constituído por uma fonte de tensão V_{AB} = 12,0 V, uma lâmpada de resistência elétrica R_L = 10,0 Ω e um amperímetro. Observe que o amperímetro está ligado em série com a lâmpada. Sem a presença do amperímetro no circuito, a corrente através da lâmpada seria I = 1,20 A (valor dado por $I = V_{AB}/R_L$). No caso ideal, o amperímetro não possui resistência interna. Assim, a sua presença não afetaria a resistência equivalente do circuito, de forma que a sua leitura seria exatamente igual a 1,20 A. No caso real, contudo, o amperímetro apresenta uma pequena resistência interna. Se esse valor for R_A = 0,10 Ω, a resistência equivalente do circuito será igual a 10,1 Ω, e a corrente será reduzida a 1,19 A. Esse é o valor que o amperímetro registrará. Como a resistência do amperímetro é muito menor que a resistência da lâmpada (0,10 Ω é 100 vezes menor que 10,0 Ω), a corrente registrada no aparelho é praticamente igual ao valor da corrente no circuito original (sem a presença do amperímetro). Nesse caso, o erro é menor que 1%.

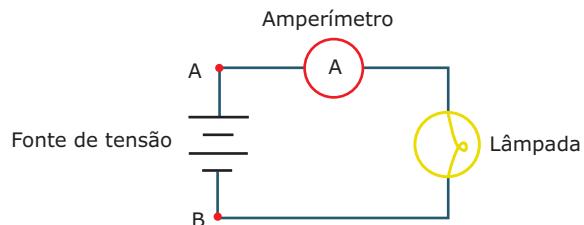



Figura 1: Montagem para medição da corrente elétrica.

MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA

Considere um circuito com dois resistores, ambos de resistência R, ligados em série e alimentados por uma fonte de tensão V_{AB} = 12 V. Obviamente, como as resistências são iguais, as tensões nos resistores também são iguais, cada uma valendo 6 V. Podemos medir a tensão elétrica em um dos resistores, inserindo um voltímetro em paralelo com ele, como mostra a figura 2, de forma que a tensão no voltímetro seja igual à tensão nesse resistor. Porém, como o voltímetro é ligado em paralelo, a sua presença reduz a resistência entre os pontos C e B, provocando um aumento da corrente no circuito. O resultado é que a tensão V_{AC} no outro resistor torna-se um pouco maior que 6 V, enquanto a tensão V_{CB} fica um pouco inferior a 6 V. Para que o efeito da medição de voltagem sobre um circuito seja minimizado, o voltímetro deve possuir uma resistência muito grande, bem maior que a resistência do resistor ao qual o voltímetro é ligado em paralelo, de modo que a resistência equivalente, praticamente, não seja alterada com a presença do instrumento.

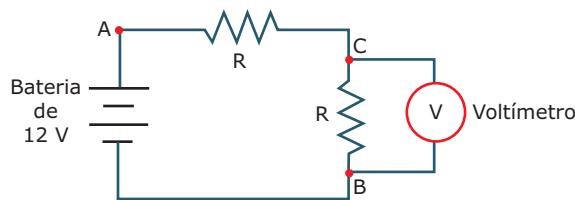



Figura 2: Montagem para medição da tensão elétrica.

Agora, vamos considerar os seguintes valores para ilustrar a discussão do parágrafo anterior: a resistência de cada resistor é R = 100 Ω, e a resistência interna do voltímetro é R_V = 900 Ω. Sem a presença do voltímetro, a resistência equivalente do circuito vale 200 Ω, e a corrente elétrica no circuito é igual a 0,060 A (valor dado por I = 12/200). Com a introdução do voltímetro no circuito, a resistência do trecho CB diminui para o seguinte valor:

$$R_{CB} = \frac{R.R_V}{R + R_V} = \frac{100.900}{100 + 900} = 90\ \Omega$$

Assim, a resistência equivalente do circuito diminui para R_E = 190 Ω, enquanto a corrente no circuito torna-se maior e igual a:

$$I = \frac{V_{AB}}{R_E} = \frac{12}{190} = 0{,}063\ \text{A}$$

Finalmente, multiplicando essa corrente pelas resistências dos trechos AC e CB, obtemos as tensões elétricas correspondentes:

$$V_{CB} = 90.0{,}063 = 5{,}7\ \text{V} \quad \text{e} \quad V_{AC} = 100.0{,}063 = 6{,}3\ \text{V}$$

Observe que a introdução do voltímetro no circuito alterou a distribuição de tensões nos resistores (antes, a tensão em cada resistor era 6 V). Como o voltímetro registra um valor igual a 5,7 V, existe um erro de 5% nessa medição. Para reduzir o erro, um voltímetro de melhor qualidade (de maior resistência interna) deve ser usado.

PARA REFLETIR

Por que os amperímetros, em geral, possuem um fusível interno para proteger o circuito interno, mas os voltímetros não?

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Podemos medir a resistência elétrica de um resistor ligando-o diretamente aos terminais de um ohmímetro. A figura 3 ilustra a medição da resistência elétrica de um resistor de resistência nominal igual a 2,0 kΩ, por meio dessa técnica. Observe que, para realizar a medição, o resistor deve estar isolado, isto é, desconectado do seu circuito elétrico de origem.

Figura 3: Medição da resistência elétrica.

A resistência de um resistor pode ser obtida indiretamente, ligando-o a uma bateria e medindo-se a tensão V e a corrente I no resistor. A razão R = V/I nos fornece o valor dessa resistência. Nesse caso, um amperímetro e um voltímetro são necessários para registrar os valores da tensão e da corrente. O exercício resolvido 01 apresenta uma discussão interessante sobre essa metodologia de medição da resistência elétrica.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Considere que o resistor da figura 3 seja ligado conforme o circuito mostrado esquematicamente na figura a seguir. A resistência do voltímetro é R_V = 40 kΩ e a do amperímetro é R_A = 2 Ω. Em relação à medição direta mostrada na figura 3, calcular o erro cometido se a resistência R do resistor for calculada pelo quociente entre a leitura do voltímetro e a do amperímetro.

Resolução:

Nesse circuito, o voltímetro mede a tensão no resistor. Porém, o amperímetro não mede a corrente no resistor, mas a soma da corrente que passa pelo resistor com a corrente que passa pelo voltímetro. Podemos calcular a corrente e a tensão no resistor a partir dos valores numéricos fornecidos no problema. Para isso, primeiro devemos calcular a resistência equivalente do circuito. A resistência equivalente do resistor e do voltímetro é:

$$R'_E = \frac{R.R_V}{R + R_V} = \frac{2.40}{2 + 40} = 1{,}905\ \text{k}\Omega = 1\ 905\ \Omega$$

E a resistência equivalente do circuito é:

$$R_E = R_A + R'_E = 2 + 1\ 905 = 1\ 907\ \Omega$$

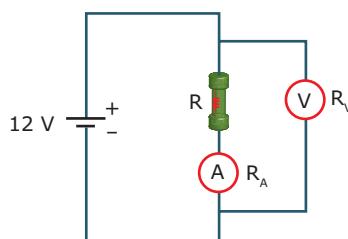
Então, a corrente total (registrada no amperímetro) é:

$$I = \frac{V_{bat}}{R_E} = \frac{12}{1\ 907} = 0{,}00629\ \text{A}$$

Com o valor dessa corrente, podemos calcular a tensão elétrica entre os terminais do amperímetro:

$$V_A = R_A.I = 2.0,00629 = 0,0126 \text{ V}$$

Portanto, a tensão entre os terminais do resistor e do voltímetro (registrada por esse instrumento) é:

$$V' = V_{bat} - V_A = 12 - 0,0126 = 11,987 \text{ V}$$

Assim, nesse circuito, o voltímetro marca uma tensão de 11,987 V, e o amperímetro marca uma corrente de 0,00629 A. Como o quociente entre esses valores representa a resistência do resistor, temos:

$$R = \frac{V'}{I} = \frac{11,987}{0,00629} = 1\ 906\ \Omega = 1,906\ \text{k}\Omega$$

Esse valor difere em, aproximadamente, 5% do valor R = 2 kΩ, o que é um erro significativo.

Comentário:

O erro obtido era esperado, pois a resistência do voltímetro é apenas 20 vezes maior que a do resistor. Por isso, o voltímetro em paralelo com o resistor altera significativamente o valor da corrente no circuito. A figura seguinte mostra uma montagem mais adequada para se obter a resistência do resistor. Agora, o amperímetro é que mede a corrente no resistor, enquanto o voltímetro mede a soma da voltagem no resistor com a voltagem no amperímetro. Como a resistência do amperímetro é 1 000 vezes menor que a resistência R, a queda de tensão causada por esse instrumento é muito pequena. Assim, a leitura do voltímetro é praticamente igual à própria tensão no resistor. Faça os cálculos como anteriormente e mostre que R, nesse caso, vale 2,00 kΩ, apresentando um erro de apenas 0,1%.

Note que essa montagem levou a um valor de resistência maior que o real, enquanto a primeira montagem forneceu um valor de resistência menor que o real. Mesmo para outros valores numéricos, isso sempre ocorre.

Como comentário final, é importante destacar que essa técnica de medição da resistência pode, em certos casos, implicar um aquecimento do resistor (por exemplo, se o resistor for uma lâmpada incandescente). Nesses casos, o quociente entre a tensão e a corrente poderá diferir bastante da resistência obtida a frio em um ohmímetro, pois a resistência depende da temperatura. Em funcionamento normal, uma lâmpada de 120 V / 40 W apresenta uma resistência de 360 Ω. A frio, a resistência não passa de 30 Ω.

A PONTE DE WHEATSTONE

Uma ponte de Wheatstone é um circuito elétrico constituído por uma rede de quatro resistores, três de valores fixos (R_1, R_2 e R_3) e um quarto variável R_v, ligados entre si, como mostra a figura 4. O circuito é alimentado por uma fonte de tensão V_{AB}, e um galvanômetro detecta a corrente entre os pontos M e N. A resistência R_v pode ser ajustada de modo que os potenciais elétricos dos pontos M e N sejam exatamente iguais. Quando esse equilíbrio é atingido, o galvanômetro não indica passagem de corrente ($I_G = 0$). Um amperímetro pode ser usado para achar o equilíbrio da ponte, mas a sua sensibilidade é menor que a do galvanômetro. O uso do galvanômetro, todavia, deve ser feito com a ponte próxima ao equilíbrio, pois uma corrente acima do fundo de escala (que é muito baixo) pode danificar o aparelho.

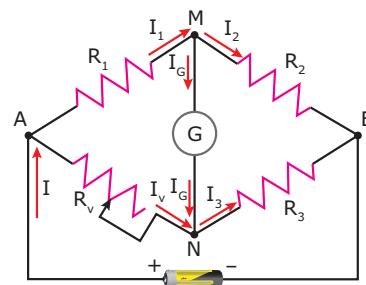



Figura 4: Ponte de Wheatstone.

Observe que, nessa figura, a ponte não está equilibrada. O potencial do ponto M é maior que o potencial do ponto N ($V_M > V_N$), pois a corrente I_G é voltada para baixo. Para a ponte equilibrada, I_G vale zero. Consequentemente, as correntes I_1 e I_2 são iguais, o mesmo ocorrendo com as correntes I_v e I_3. Além disso, outra igualdade importante para a ponte equilibrada é a seguinte:

$$R_1.R_3 = R_v.R_2$$

É fácil demonstrar essa igualdade. Primeiramente, vamos determinar uma relação entre as voltagens e as resistências nas partes superior e inferior do circuito. Para isso, podemos usar as igualdades entre as correntes mencionadas anteriormente. Assim:

Parte de cima: $I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{V_{AM}}{R_1} = \frac{V_{MB}}{R_2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{AM}}{V_{MB}}$

Parte de baixo: $I_V = I_3 \Rightarrow \frac{V_{AN}}{R_v} = \frac{V_{NB}}{R_3} \Rightarrow \frac{R_v}{R_3} = \frac{V_{AN}}{V_{NB}}$

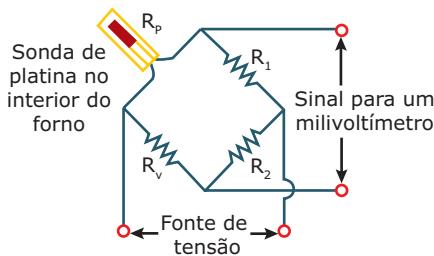
Como os potencias V_M e V_N são iguais, concluímos que $V_{AM} = V_{AN}$ e $V_{MB} = V_{NB}$. Portanto, as frações envolvendo as voltagens nas duas relações anteriores são iguais. Logo, as frações envolvendo as resistências podem ser igualadas, de modo que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_v}{R_3} \quad \text{ou} \quad R_1.R_3 = R_v.R_2$$

Para facilitar a memorização dessa equação (necessária em alguns vestibulares), observe que as resistências R_1 e R_3 se acham em posições opostas: a primeira situa-se na parte esquerda e de cima do circuito, enquanto a outra está à direita e embaixo. O mesmo ocorre com as resistências R_v e R_2. Assim, os estudantes memorizam essa equação com a ajuda da seguinte frase: "Em uma ponte de Wheatstone equilibrada, os produtos das resistências opostas são iguais".

Agora, vamos estudar algumas aplicações da ponte de Wheatstone. Uma das utilidades desse circuito é a determinação de uma das resistências a partir dos valores das outras três. Na figura 4, considere $R_1 = 10,01\ \Omega$, $R_2 = 19,99\ \Omega$ e que a resistência R_3 seja desconhecida. Imagine que a resistência R_v tenha sido ajustada para $33,52\ \Omega$, de modo que a ponte tenha ficado equilibrada. Assim, usando a equação anterior, podemos calcular o valor R_3:

$$R_3 = \frac{R_v.R_2}{R_1} = \frac{33,52.19,99}{10,01} = 66,94\ \Omega$$

Em geral, nesse método, as resistências são conhecidas com bastante precisão. Assim, usando um galvanômetro sensível, a resistência desconhecida é calculada também com boa precisão.

Outra aplicação da ponte de Wheatstone refere-se à medição de grandezas físicas relacionadas com a resistência elétrica. Por exemplo, a resistência de uma barra metálica depende da geometria e da resistividade elétrica da barra. Essa última propriedade, por sua vez, é função da temperatura. Assim, usando um procedimento bastante semelhante ao descrito no parágrafo anterior, podemos obter o valor da temperatura em um ambiente por meio do cálculo da resistência de uma barra metálica presente nesse local. Nesse caso, a barra faz o papel da resistência desconhecida da ponte de Wheatstone. A determinação dessa resistência conduz ao valor da temperatura da barra e do local onde ela se acha. A seguir, apresentamos o exercício resolvido 02, que descreve esse método de medição de temperatura.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. A figura a seguir mostra uma ponte de Wheatstone usada para a medição da temperatura de um forno. A resistência R_P é uma sonda de platina, cuja relação com a temperatura T é:

$T = 500 + 10R_P$ (Unidades: K, Ω)

A resistência R_v pode ser ajustada de 10,0 até 20,0 Ω. A razão entre as outras duas resistências é $R_1/R_2 = 2,00$.

A) Determinar a temperatura do forno se a regulagem de sinal zero para o milivoltímetro corresponde a $R_v = 15,0\ \Omega$.

B) Determinar a maior e a menor temperatura do forno que podem ser registradas por esse sistema.

Resolução:

Observe que não há um galvanômetro ou um amperímetro para medir a corrente entre as extremidades superior e inferior do circuito. Nesse sistema, optou-se por medir a diferença de potencial entre essas extremidades por meio de um milivoltímetro. Ajustando a resistência R_v para um valor adequado, obtém-se o registro zero dessa diferença de potencial, indicando o equilíbrio da ponte.

A) Vamos chamar de T_{15} a temperatura do forno para o ajuste de $R_v = 15,0\ \Omega$. Como a ponte está equilibrada, podemos calcular R_P pela relação a seguir:

$$R_p = R_v\frac{R_1}{R_2} = 15,0.2,00 = 30,0\ \Omega$$

Substituindo esse valor na equação de temperatura fornecida pelo enunciado, obtemos a temperatura do forno:

$T = 500 + 10R_p = 500 + 10.30,0 = 800\text{ K} = 527\ °C$

B) A faixa de temperaturas do sistema de medição é limitada pelos valores mínimo e máximo de R_v, 10,0 Ω e 20,0 Ω. Substituindo esses valores na equação da ponte equilibrada, obtemos os valores correspondentes de R_P:

$R_{p_{mín}} = 10,0.2,00 = 20,0\ \Omega$ e $R_{p_{máx}} = 20,0.2,00 = 40\ \Omega$

Substituindo essas resistências na equação de temperatura, obtemos a faixa de temperaturas que o sistema pode medir:

$T_{mín} = 500 + 10R_p = 500 + 10.20,0 = 700\text{ K} = 427\ °C$

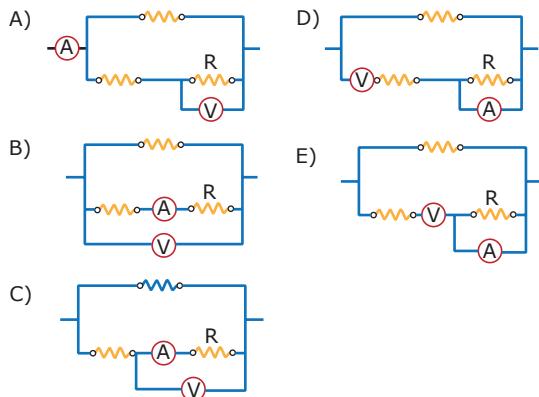
$T_{máx} = 500 + 10R_p = 500 + 10.40,0 = 900\text{ K} = 627\ °C$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (PUC Minas) Leia atentamente as afirmativas a seguir.

I. Para se medir a queda de potencial em um resistor, deve-se colocar o amperímetro em paralelo com o resistor.

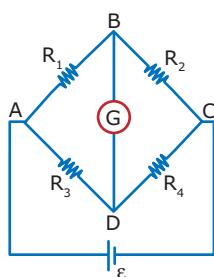
II. Para se medir a corrente através de um resistor, deve-se colocar o voltímetro em paralelo com o resistor.

III. Para se medir a corrente através de um resistor, deve-se colocar o amperímetro em série com o resistor.

Assinale

A) se apenas a afirmativa I é correta.

B) se apenas a afirmativa II é correta.

C) se apenas a afirmativa III é correta.

D) se as afirmativas I e III são corretas.

02. (UEL-PR) Sobre o funcionamento de voltímetros e o funcionamento de amperímetros, assinale a alternativa **CORRETA**.

A) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.

B) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.

C) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

D) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

E) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

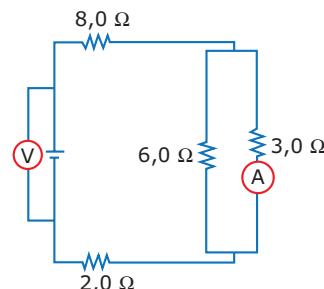
03. (Cesgranrio) Um voltímetro representado pela letra V e um amperímetro representado pela letra A, ambos ideais, são utilizados para medir a d.d.p. e a intensidade de corrente elétrica de um resistor R. Assinale a opção que indica uma maneira **CORRETA** de usar esses instrumentos.

04. (UFTM-MG–2007) Embora Wheatstone não tenha sido o criador da tão conhecida ponte de Wheatstone, com certeza ele a utilizou em muitos experimentos. Para que esse circuito cumpra sua finalidade, a leitura no galvanômetro deve ser zero, o que confere ao conjunto uma configuração de equilíbrio.

Analise as afirmações, considerando que a ponte de Wheatstone esquematizada esteja em equilíbrio.

I. Os valores dos resistores R_1, R_2, R_3 e R_4 guardam a proporção dada pela expressão $R_1 R_2 = R_3 R_4$.

II. Mesmo que o gerador seja substituído por outro de força eletromotriz diferente, o galvanômetro indicará o valor zero.

III. Os pontos B e D são equipotenciais, assim como o são os pontos A e C.

É **CORRETO** o contido em

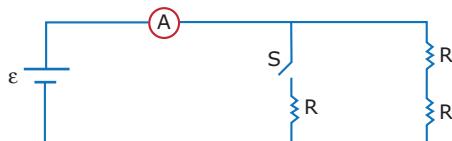
A) II, apenas.

B) III, apenas.

C) I e II, apenas.

D) I e III, apenas.

E) I, II e III.

05. (UFRJ) No circuito esquematizado na figura, o voltímetro e o amperímetro são ideais. O amperímetro indica 2,0 A.

CALCULE a indicação do voltímetro.

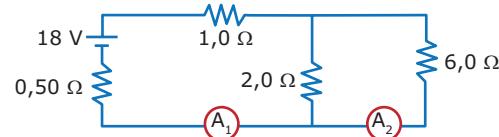
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. Um técnico deve medir a resistência elétrica de uma lâmpada em funcionamento, isto é, com esta ligada a uma fonte de tensão. Ele dispõe de um ohmímetro, de um amperímetro e de um voltímetro. O técnico sabe que a resistência interna do amperímetro é muitas vezes menor que a da lâmpada, mas que o voltímetro possui uma resistência apenas algumas vezes maior que a da lâmpada. Entre as opções seguintes, escolha a mais **ADEQUADA** para determinar a resistência da lâmpada acesa.

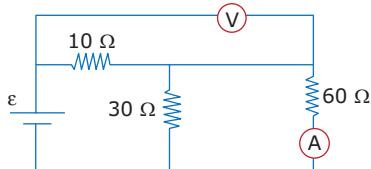
A) Associar o voltímetro e o amperímetro em paralelo com a lâmpada e obter resistência da lâmpada multiplicando as leituras desses medidores.

B) Associar o voltímetro em paralelo com a lâmpada, o amperímetro em série com esse conjunto e obter a resistência dividindo a primeira medição pela segunda.

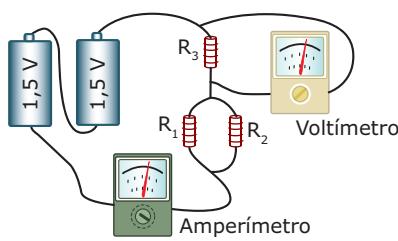
C) Associar o amperímetro em série com a lâmpada, o voltímetro em paralelo com esse conjunto e obter a resistência dividindo a segunda medição pela primeira.

D) Associar o ohmímetro em paralelo com a lâmpada e obter a resistência da lâmpada através da leitura direta fornecida por esse medidor.

02. (UFMG–2009) Observe este circuito, constituído de três resistores de mesma resistência R; um amperímetro A; uma bateria ε; e um interruptor S.

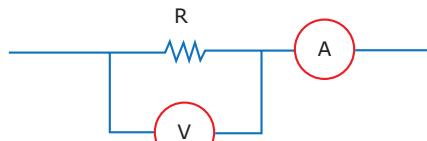
Considere que a resistência interna da bateria e a do amperímetro são desprezíveis e que os resistores são ôhmicos. Com o interruptor S inicialmente desligado, observa-se que o amperímetro indica uma corrente elétrica I. Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que, quando o interruptor S é ligado, o amperímetro passa a indicar uma corrente elétrica

A) 2I/3. B) I/2. C) 2I. D) 3I.

03. (Fatec-SP–2008) Num circuito elétrico, uma fonte, de força eletromotriz 18 V e resistência elétrica 0,50 Ω, alimenta três resistores, de resistências 1,0 Ω, 2,0 Ω e 6,0 Ω, conforme a seguir representado.

As leituras dos amperímetros ideais A_1 e A_2 são, em ampères, respectivamente,

A) 6,0 e 4,5. C) 4,0 e 3,0. E) 2,0 e 1,5.
B) 6,0 e 1,5. D) 4,0 e 1,0.

04. (Unifor-CE–2008) No circuito elétrico alimentado pela fonte ε, tem-se três resistores com os valores de resistência indicados e dois instrumentos de medida considerados ideais.

Se a leitura do amperímetro é 0,50 A, o voltímetro marca, em volts,

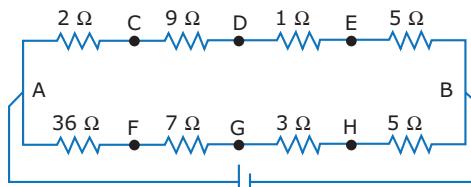
A) 45. B) 35. C) 25. D) 20. E) 15.

05. (PUC-SP–2007) No circuito esquematizado a seguir, duas pilhas idênticas de força eletromotriz 1,5 V estão associadas a três resistores: R_1 de 1,0 Ω, R_2 de resistência não conhecida e R_3, de 2,0 Ω. Para a montagem representada, a leitura do amperímetro ideal é 1,2 A e o voltímetro, colocado em paralelo a R_3, é ideal.

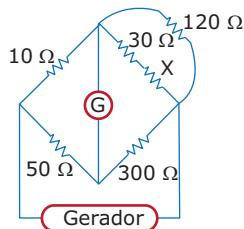
O valor da resistência do resistor R_2, em ohm, e a leitura do voltímetro, em volt, são, respectivamente, iguais a

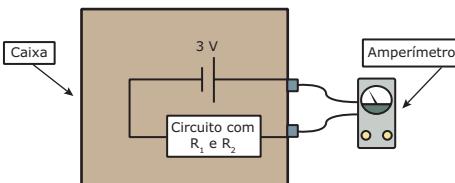
A) 1,0 e 2,4.
B) 2,0 e 0,8.
C) 2,0 e 2,4.
D) 1,0 e 0,8.
E) 1,2 e 2,4.

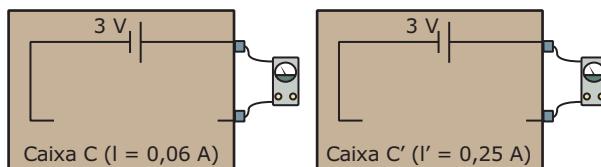
06. (VUNESP / Adaptado) Um estudante utiliza-se das medidas de um voltímetro V e de um amperímetro A para calcular a resistência elétrica de um resistor e a potência dissipada nele. As medidas de corrente e voltagem foram realizadas utilizando-se o circuito da figura.

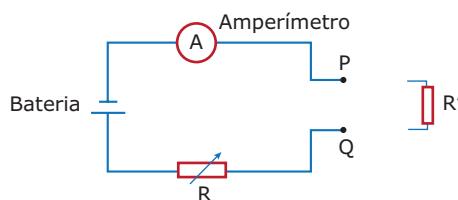
O amperímetro indicou 3,0 mA e o voltímetro, 10 V. Cuidadoso, ele lembrou-se de que o voltímetro não é ideal e que é preciso considerar o valor da resistência interna do medidor para se calcular o valor da resistência R. Se a especificação para a resistência interna do aparelho é 10 kΩ, a resistência R obtida pelo estudante foi

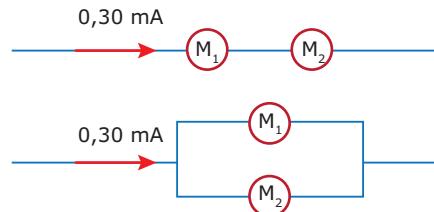
A) 1,0 kΩ. D) 4,0 kΩ.
B) 2,0 kΩ. E) 5,0 kΩ.
C) 3,0 kΩ.

07. (UFV-MG–2008) Um chuveiro C e um forno de micro-ondas M são ligados, como mostrado no circuito a seguir.

Sabendo que é de 4 800 W a potência dissipada pelo chuveiro e de 1 200 W a dissipada pelo forno de micro-ondas, a corrente medida pelo amperímetro ideal A será

A) 50 A. C) 30 A.
B) 10 A. D) 40 A.

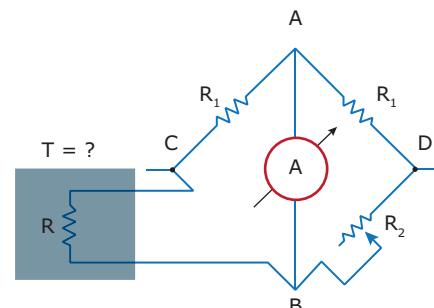
08. (Mackenzie-SP) Considerando o circuito a seguir e dispondo de um galvanômetro ideal, podemos afirmar que ele registraria uma intensidade de corrente igual a zero se seus terminais fossem ligados aos pontos

A) C e F. D) E e F.
B) D e G. E) C e H.
C) E e H.

09. (FESJC-SP) A ponte apresentada na figura a seguir está em equilíbrio. A resistência X vale

A) 10 Ω.
B) 50 Ω.
C) 90 Ω.
D) 300 Ω.
E) 400 Ω.

10. (FUVEST-SP–2010) Em uma aula de Física, os estudantes receberam duas caixas lacradas, C e C′, cada uma delas contendo um circuito genérico, formado por dois resistores (R_1 e R_2), ligado a uma bateria de 3 V de tensão, conforme o esquema da figura a seguir. Das instruções recebidas, esses estudantes souberam que os dois resistores eram percorridos por correntes elétricas não nulas e que o valor de R_1 era o mesmo nas duas caixas, bem como o de R_2. O objetivo do experimento era descobrir como as resistências estavam associadas e determinar seus valores. Os alunos mediram as correntes elétricas que percorriam os circuitos das duas caixas, C e C′, e obtiveram os valores I = 0,06 A e I′ = 0,25 A, respectivamente.

A) **COMPLETE** as figuras a seguir, desenhando, para cada caixa, um esquema com a associação dos resistores R_1 e R_2.

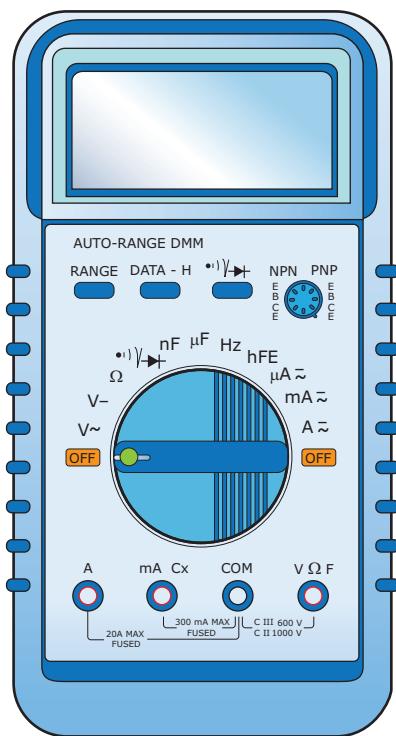
B) **DETERMINE** os valores de R_1 e R_2.

Note e adote: Desconsidere a resistência interna do amperímetro.

11. (UFMG–2006) Um amperímetro pode ser utilizado para medir a resistência elétrica de resistores. Para isso, monta-se o circuito mostrado nesta figura:

Nesse circuito, o amperímetro é ligado a uma bateria de 1,50 V e a uma resistência variável R. Inicialmente, os terminais P e Q, indicados na figura, são conectados um ao outro. Nessa situação, a resistência variável é ajustada de forma que a corrente no circuito seja de $1{,}0 \times 10^{-3}$ A. Guilherme utiliza esse circuito para medir a resistência R de um certo componente. Para tanto, ele conecta esse componente aos terminais P e Q e mede uma corrente de $0{,}30 \times 10^{-3}$ A. Com base nessas informações, **DETERMINE** o valor da resistência R′.

12. (VUNESP) São dados dois miliamperímetros de marcas diferentes, M_1 e M_2, cujas resistências internas são de 50 ohms e 100 ohms, respectivamente. Ambos podem medir correntes de até 1 mA = 10^{-3} A (corrente de fundo de escala) e estão igualmente calibrados. **DETERMINE** as correntes que indicarão esses miliamperímetros nas montagens representadas pelas figuras a seguir.

13. (Unicamp-SP) A variação de uma resistência elétrica com a temperatura pode ser utilizada para medir a temperatura de um corpo. Considere uma resistência R que varia com a temperatura T de acordo com a expressão:

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

Em que R_0 = 100 Ω, $\alpha = 4 \times 10^{-2}$ °C^{-1} e T é dada em graus Celsius. Essa resistência está em equilíbrio térmico com o corpo, cuja temperatura T deseja-se conhecer. Para medir o valor de R, ajusta-se a resistência R_2, indicada no circuito a seguir, até que a corrente medida pelo amperímetro no trecho AB seja nula.

A) Qual a temperatura T do corpo quando a resistência R_2 for igual a 108 Ω?

B) A corrente através da resistência R é igual a $5{,}0 \times 10^{-3}$ A. Qual a diferença de potencial entre os pontos C e D indicados na figura?

SEÇÃO ENEM

01. Os dispositivos que medem diretamente a corrente, a tensão e a resistência elétrica são denominados de amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente. É bastante comum a inclusão de todos esses medidores em um único aparelho, o multímetro, no qual a seleção da medição elétrica é feita através de uma chave. Muitos multímetros são aptos a medir corrente e tensão contínuas ou alternadas.

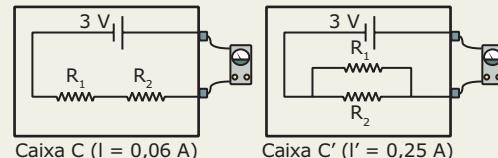
A figura a seguir mostra um multímetro digital. O símbolo "~" indica que o sinal de entrada (tensão ou corrente) medido é alternado, e o símbolo "–", que o sinal é contínuo. Quando os dois símbolos aparecem juntos, significa que o sinal pode ser alternado ou contínuo.

Para medir a tensão em uma tomada de energia elétrica de sua casa, um estudante deve interligar um dos terminais da tomada ao borne "COM" desse multímetro. O outro terminal da tomada deve ser conectado ao borne

A) "A", e a chave central deve ser girada para a posição "A ≂".
B) "A", e a chave central deve ser girada para a posição "mA ≂".
C) "V Ω F", e a chave central deve ser girada para a posição "V ~".
D) "V Ω F", e a chave central deve ser girada para a posição "V –".
E) "V Ω F", e a chave central deve ser girada para a posição "Ω".

02. João não consegue ligar o seu aparelho de som usando o cabo bipolar mostrado na figura. Suspeitando que o problema se devesse ao fato de o fio PS ou de o fio QR estar rompido, ou que houvesse um contato interno entre esses fios, João resolve testar o cabo usando um ohmímetro. Ligando esse aparelho entre os pontos

A) P e Q e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS e QR.
B) R e S e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS ou do fio QR.
C) P e R e registrando uma resistência infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.
D) P e S e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS.
E) Q e R e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.

GABARITO

Fixação

01. C 02. D 03. C 04. A 05. 36 V

Propostos

01. C
02. D
03. B
04. E
05. A
06. E
07. A
08. D
09. C
10. A) Para I = 0,06 A (a menor corrente), os resistores estão ligados em série. Para I = 0,25 A, eles estão associados em paralelo.

Caixa C (I = 0,06 A) Caixa C' (I' = 0,25 A)

B) Um dos resistores tem resistência de 20 Ω, e o outro, de 30 Ω, não importando a ordem.

11. R' = 3,5 kΩ
12. Na montagem dos amperímetros em série, $I_1 = I_2$ = 0,30 mA; na montagem dos amperímetros em paralelo, I_1 = 0,20 mA e I_2 = 0,10 mA
13. A) T = 2,0 °C
B) V_{CD} = 1,08 V

Seção Enem

01. C 02. A